

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

Tesis

**Rediseño de deflectores para optimizar el  
mantenimiento de celdas de flotación modelo Wemco  
en unidad minera Las Bambas**

Jhon Jaime Pecho Inga

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Mecánico

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## **AGRADECIMIENTO**

Mi más profundo agradecimiento a mis padres, Jaime y Lucila, su fe inquebrantable en mí, su paciencia y su sacrificio han sido fundamentales para alcanzar esta meta. Desde el comienzo de mi carrera hasta la culminación de esta tesis, su apoyo ha sido una fuente constante de inspiración y motivación. También quiero extender mi agradecimiento a mis hermanas, por su amor y comprensión, y a mi pareja, por su apoyo constante y aliento en cada etapa del proceso. Su confianza en mí ha sido invaluable. Este logro es el resultado del esfuerzo y el amor de todos ustedes. Gracias por estar siempre a mi lado y por creer en mí.

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mis queridos padres, Jaime y Lucila. Su amor incondicional, sacrificios y apoyo constante han sido el pilar sobre el que he construido mi camino como ingeniero mecánico. Sin su guía y aliento, este logro no habría sido posible.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>Agradecimiento</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Índice de contenidos</b> .....	<b>vi</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>viii</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>ix</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>xi</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>xii</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>xiii</b>
<b>Capítulo I</b> .....	<b>15</b>
<b>Planteamiento del estudio</b> .....	<b>15</b>
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	15
1.1.1. Formulación del problema.....	16
1.1.1.1. Problema general .....	16
1.1.1.2. Problemas específicos.....	16
1.2. Objetivos de la investigación.....	16
1.2.1. Objetivo general .....	16
1.2.2. Objetivos específicos .....	17
1.3. Justificación de la investigación .....	17
1.3.1. Teórica.....	17
1.3.2. Práctica.....	17
1.3.3. Económica.....	17
1.4. Limitaciones .....	17
<b>Capítulo II</b> .....	<b>18</b>
<b>Marco teórico</b> .....	<b>18</b>
2.1. Antecedentes de la investigación .....	18
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	18
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	20
2.2. Bases teóricas.....	21
2.2.1. Tipos de celdas de flotación.....	21
2.2.2. Deflector.....	24
2.2.3. Teoría del rediseño de deflectores.....	25
2.2.4. Ecuaciones para cálculo de desgaste por impacto en deflectores.....	27
2.2.5. Desgaste por impacto .....	28
2.2.6. Plan de mantenimiento .....	29

2.2.7. Estrategia de mantenimiento .....	30
<b>Capítulo III.....</b>	<b>32</b>
<b>Metodología de la investigación.....</b>	<b>32</b>
3.1. Método, tipo o alcance de la investigación .....	32
3.1.1. Método de investigación .....	32
3.1.2. Tipo de investigación .....	32
3.1.3. Nivel de la investigación.....	32
3.2. Diseño de la investigación.....	33
3.3. Población y muestra .....	33
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	34
<b>Capítulo IV .....</b>	<b>35</b>
<b>Resultados y discusión .....</b>	<b>35</b>
4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información.....	35
4.1.1. Zonas críticas de desgaste por impacto en celdas Wemco .....	36
4.1.2. Análisis del estado inicial de los deflectores .....	40
4.1.3. Análisis de deflector modificado .....	49
4.1.4. Fabricación de los deflectores modificados .....	64
4.2. Discusión de resultados.....	77
<b>Conclusiones.....</b>	<b>79</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>81</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>83</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>85</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades mecánicas del acero ASTM A36.....	41
Tabla 2. Inspección de desgaste de deflectores.....	48
Tabla 3. Lista de exigencias.....	49
Tabla 4. Cronograma de actividades.....	52
Tabla 5. Lista de piezas de deflector modificado.....	55
Tabla 6. Especificaciones técnicas de deflector modificado.....	56
Tabla 7. Mantenimiento de celdas FTR.....	65
Tabla 8. Propiedades mecánicas del metal depositado .....	66
Tabla 9. Composición química del metal depositado .....	67
Tabla 10. Amperaje recomendado para soldadura.....	67
Tabla 11. Cantidad de consumibles .....	68
Tabla 12. Herramientas y equipos de poder.....	71
Tabla 13. Cuadro comparativo de deflectores: costos, recursos y tiempo .....	76

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estado de los deflectores en celdas de flotación.....	16
Figura 2. Máquina de flotación Denver Sub A .....	21
Figura 3. Máquina de flotación Agitar.....	22
Figura 4. Celda de flotación columnar.....	22
Figura 5. Comportamiento interno de las celdas de flotación.....	24
Figura 6. Función del deflector.....	25
Figura 7. Causas del desgaste por impacto .....	29
Figura 8. Estructura interna de una celda de flotación.....	33
Figura 9. Celdas de flotación escogidas para trabajo.....	35
Figura 10. Vista superior de la celda de flotación.....	37
Figura 11. Vista frontal de la celda de flotación .....	37
Figura 12. Dimensiones de deflector .....	38
Figura 13. Comportamiento de fluido con deflector.....	38
Figura 14. Comportamiento de fluido con deflector N.º 2 .....	39
Figura 15. Comportamiento de fluido con deflector Nº 3 .....	43
Figura 16. Vista de perfil del comportamiento de fluido .....	44
Figura 17. Vista superior del comportamiento de fluido .....	44
Figura 18. Estado de deflector .....	45
Figura 19. Estado de deflector N.º 2.....	45
Figura 20. Estado de deflector Nº 03.....	46
Figura 21. Estado de deflector Nº 04.....	46
Figura 22. Toma de medidas de deflector dañado .....	47
Figura 23. Deflector modificado.....	55
Figura 24. Dimensiones vista frontal de deflector modificado .....	57
Figura 25. Vista de pernos de sujeción y soldadura.....	57
Figura 26. Dimensiones de la pieza 2 del deflector modificado .....	58
Figura 27. Dimensiones de la pieza 3 del deflector modificado .....	59
Figura 28. Comportamiento de fluido en deflector modificado.....	60
Figura 29. Comportamiento de fluido en deflector modificado Nº02 .....	60
Figura 30. Vista de perfil del comportamiento del fluido .....	61
Figura 31. Vista superior del comportamiento del fluido .....	61
Figura 32. Comportamiento de fluido en deflector modificado Nº05 .....	62
Figura 33. Comportamiento de fluido celda de flotación .....	62
Figura 34. Comportamiento de fluido celda de flotación Nº02 .....	63
Figura 35. Comportamiento de fluido celda de flotación Nº03 .....	63



Figura 36. Comportamiento de fluido celda de flotación N°04.....	64
Figura 37. Disposición de deflectores en celda de flotación.....	64
Figura 38. Disposición de soldadura en celda modificada.....	68
Figura 39. Instalación de celda modificada .....	69
Figura 40. Soldadura de celda modificada.....	69
Figura 41. Empernado de injerto de celda .....	70
Figura 42. Especificaciones de procedimiento de soldadura .....	73
Figura 43. Prueba de líquidos penetrantes .....	73
Figura 44. Plan de inspecciones y reemplazo de injertos.....	74

## RESUMEN

En la operación minera Las Bambas, la eficiencia operativa de las celdas de flotación modelo Wemco de 257 m<sup>3</sup> se ve comprometida debido a problemas significativos en los deflectores, componentes clave que afectan tanto la eficiencia hidrodinámica como la durabilidad del sistema de flotación. Este estudio tiene como objetivo rediseñar los deflectores para optimizar el mantenimiento de estas celdas, con el fin de mejorar su desempeño y prolongar su vida útil.

La metodología utilizada en este trabajo se basa en un enfoque inductivo, partiendo de la observación y análisis de los deflectores de una celda para luego generalizar los resultados a las demás. El tipo de investigación es aplicada, orientada a resolver problemas prácticos mediante la integración de conocimientos teóricos y su validación en la práctica. El nivel de investigación es exploratorio, ya que aborda problemas poco estudiados para obtener una comprensión más amplia y generar nuevas hipótesis para futuras investigaciones.

Entre los resultados obtenidos, se identificó que el desgaste por impacto es un factor crítico en la reducción de la vida útil de los deflectores, afectando su eficiencia. Las simulaciones realizadas con SolidWorks revelaron que  $21.78 \times 10^6$  partículas por segundo impactan contra los deflectores, generando desgaste abrasivo y erosivo. Además, se desarrolló un nuevo diseño de injertos para los deflectores basado en un análisis físico detallado, lo que permitirá reducir los tiempos de mantenimiento y optimizar el uso de recursos en las celdas de flotación.

Finalmente, se concluye que el rediseño de los deflectores de las celdas de flotación consiste en una placa de 3 cuerpos, el cual consta de 2 injertos: una soldada a la base primigenia y la otra atornillada a esta última, de tal forma, que con ello se hagan más efectivos los trabajos de inspección y mantenimiento del total de deflectores de las 4 celdas de flotación.

**Palabras claves:** celdas de flotación, deflectores, mantenimiento

## ABSTRACT

At the Las Bambas mining operation, the operational efficiency of the 257 m<sup>3</sup> Wemco model flotation cells is compromised due to significant problems in the baffles, key components that affect both the hydrodynamic efficiency and durability of the flotation system. This study aims to redesign the deflectors to optimize the maintenance of these cells, in order to improve their performance and prolong their useful life.

The methodology used in this work is based on an inductive approach, starting from the observation and analysis of the deflectors of a cell and then generalizing the results to the others. The type of research is applied, aimed at solving practical problems through the integration of theoretical knowledge and its validation in practice. The level of research is exploratory, as it addresses understudied problems to gain a broader understanding and generate new hypotheses for future research.

Among the results obtained, it was identified that impact wear is a critical factor in reducing the useful life of the deflectors, affecting their efficiency. Simulations carried out with SolidWorks revealed that  $21.78 \times 10^6$  particles per second impact the deflectors, generating abrasive and erosive wear. In addition, a new design of grafts for the deflectors was developed based on a detailed physical analysis, which will reduce maintenance times and optimize the use of resources in the flotation cells.

Finally, it is concluded that the redesign of the deflectors of the flotation cells consists of a 3-body plate, which consists of 2 grafts: one welded to the original base and the other screwed to the latter, in such a way that with This makes the inspection and maintenance work of all the deflectors of the 4 flotation cells more effective.

**Keywords:** deflectors, flotation cells, maintenance

## INTRODUCCIÓN

En la industria minera, la eficiencia en los procesos de recuperación de minerales es crucial para la rentabilidad y sostenibilidad de las operaciones. En la unidad minera Las Bambas, uno de los procesos esenciales para esta recuperación es la flotación, realizada mediante celdas modelo Wemco de 257 m<sup>3</sup>. Sin embargo, la eficiencia operativa de estas celdas se ha visto comprometida debido a problemas específicos relacionados con los deflectores, componentes fundamentales para la adecuada hidrodinámica del sistema de flotación. Estos deflectores están sujetos a un desgaste significativo, tanto abrasivo como erosivo, que no solo reduce su vida útil, sino que también afecta la eficiencia global del proceso de flotación, incrementando los costos de mantenimiento y operación.

Los deflectores en las celdas de flotación Wemco están diseñados para dirigir el flujo de la pulpa y mejorar la separación de los minerales valiosos. No obstante, la operación minera Las Bambas ha identificado que estos deflectores enfrentan un desgaste severo debido al impacto continuo de partículas en el fluido. Este desgaste no solo compromete la durabilidad de los deflectores, sino que también afecta negativamente la eficiencia de la separación mineral, incrementando la frecuencia y el costo de las tareas de mantenimiento.

El diseño de los deflectores en sistemas de flotación es un área crítica dentro del campo de la ingeniería de procesos mineros. La teoría de la flotación y la mecánica de fluidos proporcionan los fundamentos necesarios para comprender cómo el flujo de la pulpa, compuesto por una mezcla de agua y partículas minerales, interactúa con los componentes internos de las celdas de flotación. Estudios previos han demostrado que el desgaste en los componentes de flotación es un fenómeno complejo influenciado por múltiples factores, incluidos el tamaño y la velocidad de las partículas, la naturaleza del fluido, y las características geométricas de los componentes.

Diversos estudios y tesis han abordado la optimización de los procesos de flotación, centrándose en mejorar la eficiencia energética, la durabilidad de los componentes, y la eficacia en la recuperación de minerales. Un trabajo notable es el de Nakhaei et al. (2), que empleó modelado y simulación numérica para optimizar la eficiencia operativa de las celdas de flotación, resultando en una mejora sustancial en la recuperación de minerales y una reducción en el consumo energético. Asimismo, investigaciones anteriores en Las Bambas han identificado problemas relacionados con la durabilidad y la eficiencia de los deflectores, subrayando la necesidad de un rediseño que optimice tanto el rendimiento como el mantenimiento de estos componentes.

A partir de esta base, este trabajo tiene como objetivo rediseñar los deflectores de las celdas Wemco para mejorar el mantenimiento y prolongar la vida útil de estos componentes, contribuyendo a la sostenibilidad y rentabilidad operativa de la unidad minera Las Bambas.

El estudio está estructurado en cuatro capítulos. El Capítulo 1 presenta el planteamiento del problema, los objetivos y la justificación de la investigación. El Capítulo 2 aborda el marco teórico, revisando los conceptos de flotación, desgaste por impacto y los deflectores. El Capítulo 3 describe la metodología utilizada, que incluye un análisis experimental y simulaciones computacionales. El Capítulo 4 muestra los resultados del rediseño y las conclusiones derivadas de la investigación.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

#### **1.1. Planteamiento y formulación del problema**

El 2023 representó para el sector minero grandes retos, entre ellos se tuvo la coyuntura política y social, las posibilidades del adelanto de elecciones y el avance de la minería ilegal e informal. Pese a ello, se invirtieron en minería \$ 4046 millones de dólares que aun así sufrió una caída del 12.4 % con relación al 2022.

Sin embargo, de acuerdo con la presentación anual de resultados que hizo la minera peruana Las Bambas controlada por la empresa china MMG, la empresa cerró el 2023 con \$ 3417 millones en ingresos representando el 78.6 % de los ingresos totales y se espera que la producción para el 2024, se situó entre 280 000 t y 320 000 t de cobre concentrado. Para lograr estos objetivos, se requieren que las máquinas cumplan sus funciones operativas dentro de indicadores de gestión.

En la operación minera Las Bambas, la eficiencia operativa de la celda de flotación Wemco de 257 m<sup>3</sup> se ve comprometida por desafíos específicos relacionados con los deflectores. Estos componentes cruciales enfrentan problemas significativos que afectan tanto la eficiencia hidrodinámica como la durabilidad del sistema de flotación. La necesidad apremiante de abordar estos desafíos radica en la importancia crítica de la flotación en la recuperación de minerales, siendo un proceso esencial para la rentabilidad y sostenibilidad de la operación minera.



*Figura 1. Estado de los deflectores en celdas de flotación*

Es por lo que se requiere rediseñar los deflectores de las celdas de flotación modelo Wemco de 257 m<sup>3</sup> que puedan optimizar las actividades de mantenimiento en la unidad minera Las Bambas.

### **1.1.1. Formulación del problema**

#### **1.1.1.1. Problema general**

- ¿Cómo rediseñar los deflectores para optimizar el mantenimiento de las celdas de flotación modelo Wemco en la unidad minera Las Bambas?

#### **1.1.1.2. Problemas específicos**

- ¿Cómo realizar la recopilación de datos y documentos actuales de los deflectores de las celdas de flotación modelo Wemco?
- ¿Qué requisitos debe cumplir el rediseño de los deflectores de las celdas de flotación modelo Wemco?
- ¿Cómo realizar el rediseño conceptual de los deflectores de las celdas de flotación modelo Wemco?

## **1.2. Objetivos de la investigación**

### **1.2.1. Objetivo general**

- Rediseñar los deflectores para optimizar el mantenimiento de las celdas de flotación modelo Wemco en la unidad minera Las Bambas.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Recopilar datos y documentos actuales de los deflectores de las celdas de flotación modelo Wemco.
- Identificar los requisitos que debe cumplir el rediseño de los deflectores de las celdas de flotación modelo Wemco.
- Realizar el rediseño conceptual de los deflectores de las celdas de flotación modelo Wemco.

## **1.3. Justificación de la investigación**

### **1.3.1. Teórica**

La justificación teórica de este trabajo se fundamenta porque es necesario conocer las características y funcionamiento de los deflectores de las celdas de flotación para proponer soluciones utilizando los conocimientos de ingeniería que puedan servir a futuros estudios relacionados con este tema.

### **1.3.2. Práctica**

La justificación práctica de este trabajo se fundamenta porque se propuso una forma de optimizar los recursos técnicos y humanos para mejorar el mantenimiento de las celdas de flotación.

### **1.3.3. Económica**

La justificación económica de este trabajo se fundamenta porque se genera incremento de costos con la forma actual de desarrollo de las actividades de mantenimiento que deben ser optimizados realizando el rediseño de los deflectores de las celdas de flotación.

## **1.4. Limitaciones**

Las limitaciones que se hallaron en el desarrollo del presente trabajo están relacionadas al acceso de la información referida a los indicadores de operación debido al deficiente control operativo; falta de investigaciones previas que se realizaron en la optimización y mejora de los deflectores usados en celdas de flotación aplicados a minería por lo que se tuvo que, en función a la experiencia y análisis devenidos de la operación, asumir datos que puedan servir para las mejoras planteadas



## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de la investigación**

##### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

Montes (1) en su tesis «Modelo de análisis integral de riesgos, aplicado a nivel micro, en componentes estructurales y mecánicos de celdas de flotación del tipo Wemco» identifica como necesidad de tener un sistema robusto y confiable para el desarrollo de las actividades de ensayo e inspección de los componentes de las celdas de flotación Wemco. El objetivo que persigue es diseñar un modelo de análisis de riesgos aplicados a nivel micro que permita asegurar y controlar la calidad de los componentes estructurales y mecánicos. Para ello, la metodología que usó son recopilación de antecedentes, inspección y análisis del lugar de fabricación, desarrollo del modelo de análisis de riesgos, validación del modelo y construcción de una herramienta para el uso del modelo. Así, se encontraron los siguientes resultados: se identificaron las deficiencias en el manejo de documentos y registros de no conformidades y que el modelo permite explicar la necesidad de la inspección de las celdas.

Nakhaei et al. (2) en su investigación «Optimization and control of flotation process» identifica como problema que la flotación enfrenta desafíos en la recuperación y calidad del concentrado porque se encuentra variabilidad del mineral y parámetros operativos. El objetivo que se persigue es optimizar estos procesos de flotación para mejorar la eficiencia operativa y reducir el consumo energético, para ello, utilizó el modelado y simulación numérica de los procesos de flotación encontrando como resultado las mejoras cinéticas, optimización del consumo de energía y aumento de la eficiencia de recuperación. Finalmente, halló como conclusión que la integración de técnicas avanzadas de modelado y control puede aumentar significativamente la eficiencia de las celdas de flotación y reducir costos operativos.

Cisternas et al. (3) en su investigación «Modeling, design and optimization of multiphase systems in minerals processing», identificaron como problema las variaciones en la eficiencia de los sistemas de flotación debido a la complejidad de los minerales procesados. El objetivo que se persigue es el desarrollo y optimización de modelos para sistemas multifase en la flotación de minerales para mejorar la predictibilidad y estabilidad de los procesos utilizando como metodología la aplicación de modelos cinéticos y termodinámicos para mejorar el diseño de las celdas de flotación. Se obtuvo como resultado la optimización del diseño de las celdas de flotación, logrando una mayor recuperación de minerales y reducción de la variabilidad en la calidad de concentrado. Finalmente, se obtuvo como conclusión que la implementación de modelos avanzados permite optimizar los diseños y operaciones de las celdas de flotación, contribuyendo a una producción más eficiente.

Contreras et al. (4) en su tesis «Implementación de rediseño de celda de flotación tipo Denver, en el Laboratorio Químico Metalúrgico de la Universidad de Atacama, sede Vallenar», identificaron como problema el desarrollo de celdas de flotación que presentaba filtraciones y problemas en los sistemas de aireación y agitación, generando funcionamiento ineficiente e inestable. Para ello, plantearon como objetivo la implementación de un rediseño de la celda de flotación tipo Denver para optimizar su rendimiento, mejorando la eficiencia y estabilidad del sistema de aireación y agitación, y modificando el material de construcción para garantizar un funcionamiento adecuado a lo largo del tiempo. Se siguió la metodología de evaluación inicial e investigación y análisis de la celda y sus componentes. Se obtuvo como resultado un rediseño que mejoró significativamente la eficiencia y estabilidad de la celda de flotación tipo Denver y la nueva configuración del equipo permitió una recuperación más eficiente de los minerales, eliminando las deficiencias encontradas en la versión anterior. Finalmente se obtuvo como conclusión que el rediseño implementado no solo resolvió los problemas originales de filtración y agitación ineficiente, sino que también proporcionó una solución sostenible y duradera para el uso continuo en el laboratorio químico metalúrgico de la Universidad de Atacama.

Conde (5) en su investigación «Construcción de un prototipo de celda circular modificada y consideraciones comparativas con celdas convencionales de flotación, en la implementación de tecnologías de proceso» identifica como problema que es necesario la construcción de un prototipo que servirá para la investigación a nivel laboratorio y como objetivo construir un prototipo de celda circular modificada y hacer consideraciones comparativas con celdas convencionales de flotación. Se siguió para la construcción de la misma, los conocimientos adquiridos y modelado CAD obteniendo como resultado el diseño y construcción de un prototipo en la que se desarrollaron pruebas en vacío que resultaron satisfactoriamente considerando el variador de frecuencia e ingreso de aire a partir de

membrana porosa. Finalmente, una de las conclusiones es que el consumo de energía requerido para el funcionamiento es de solo 537.12 kW-h para 24 horas de trabajo.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Puma (6) en su investigación «Fabricación de celdas de flotación tipo Wemco para la minera Antapaccay en la empresa Imco Servicios S. A. C.», identifica como propósito la descripción del procedimiento de fabricación en acero soldado de 6 celdas de flotación tipo Wemco. Para ello, realizó el análisis de las celdas, identificando las características, los componentes principales de las celdas, el diagrama operacional de procesos, el programa de trabajo del proyecto, la descripción del proceso de fabricación, el procedimiento de soldadura y el tratamiento superficial de las celdas. Como resultado se obtuvo la fabricación de las celdas y como conclusiones que es necesario el seguimiento del proyecto desde la procura de materiales hasta el envío del producto terminado.

Giráldez (7), en su investigación «Montaje de celdas de flotación para el proyecto minero Las Bambas», indica que la finalidad del presente trabajo es servir como guía a profesionales del área de ingeniería que tendrán como reto la construcción de plantas concentradoras en tiempos más cortos, más exigentes en calidad y seguridad. Describe el proceso de montaje con ayuda de planos y manuales de proveedores de equipos además de los procedimientos estándares establecidos por la empresa constructora. Como conclusiones indica que se estableció el proceso de montaje, el paso a paso de instalación de las celdas y reduciéndose los riesgos de trabajos de altura.

Osorio (8) en su tesis «Diseño de un tanque celda de 30 m<sup>3</sup> para la flotación de concentrado de zinc en la planta concentradora Raura», identifica como problema el cuello de botella formado en el circuito de procesamiento de zinc debido a la capacidad reducida de 15 m<sup>3</sup> del tanque celda. Para dar solución a este problema, se plantea el diseño de un tanque celda de mayor capacidad de 30 m<sup>3</sup>, considerando la metodología VDI 2222 la cual considera la relación costo de fabricación y comodidad de operación como complemento del diseño. Finalmente, el factor de seguridad utilizado es 1.5 establecida por la norma API 650, el material seleccionado es el ASTM A36, el tanque será de fácil mantenimiento y operación.

Villalta (9), en su tesis «Optimización y control de calidad en la construcción de celdas de flotación de molibdeno empleando acero ASTM A36», identifica como problema las deficiencias en los estándares de calidad ocasionando reprocesos, tiempo perdido y generación de disconformidad en los clientes, para ello plantea como objetivo garantizar el control de la calidad en la construcción de celdas de flotación. La metodología que se usó es una

investigación descriptiva que arrojó como resultado la fabricación de las celdas realizando el control dimensional y topográfico. Finalmente, las conclusiones mencionan que al establecer las tolerancias de fabricación se optimizarán los tiempos y costos que involucran las reparaciones y reprocesos.

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. Tipos de celdas de flotación

- **Celdas Denver Sub A.** Las celdas de flotación Denver Sub-A consisten de celdas cuadradas hechas en su mayoría de acero, conforme muestra la figura, cada celda tiene su propio sistema de agitación, las cuales están reunidas en grupos de 1, 2, 4, 6, 8 o más celdas según las necesidades del procesamiento. La alimentación consiste mediante un tubo lateral, en cuanto a su descarga de relave, se sitúa en un nivel más bajo, de modo que el movimiento de la pulpa dentro del tanque celda se efectúa por gravedad. El concentrado de mineral se retira de la parte superior de las celdas a partir de paletas giratorias direccionadas hacia una canaleta para su posterior lavado (14).

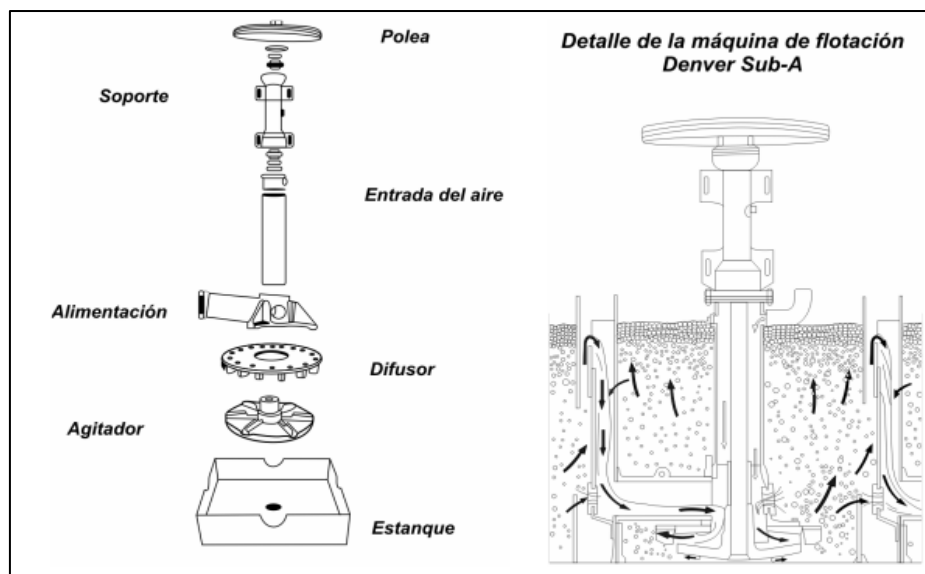
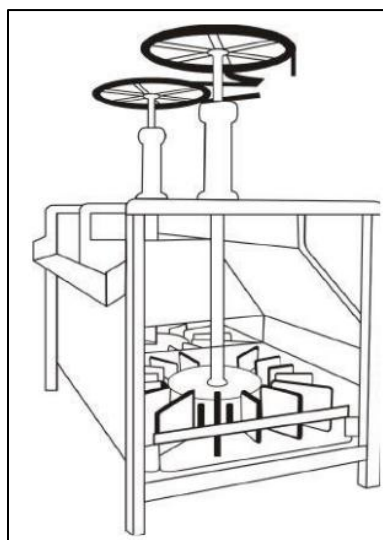


Figura 2. Máquina de flotación Denver Sub A

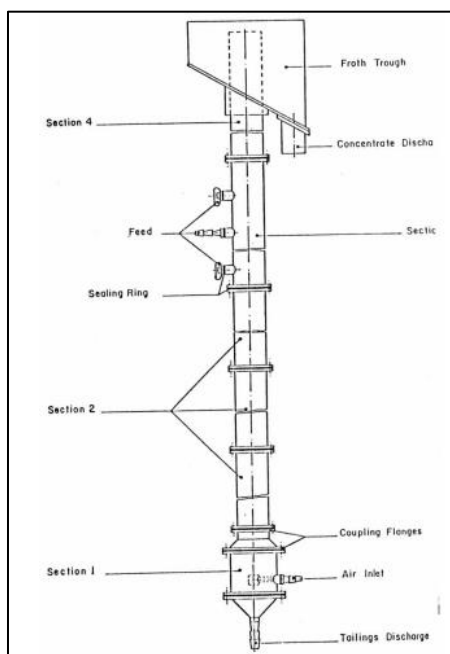
Fuente: Figueroa (14)

- **Celdas Agitair.** La construcción de la máquina Agitair se puede ver en la figura siguiente, «al igual que otros tanques celdas, dispone de un agitador por medio del cual se introduce el aire y se efectúa la agitación de la pulpa y de un cuerpo estacionario llamado estabilizador, que sirve para su dispersión y estabilización. La diferencia fundamental entre esta y otras máquinas es de que las Agitair para la aireación usan aire comprimido a baja presión» (14).



**Figura 3. Máquina de flotación Agitar**  
**Fuente: Figueroa (14)**

- Celdas de columna.** Las celdas de columna se pueden considerar integrante de la familia de reactores químicos denominados de burbujas. «Estos reactores presentan una eficiencia intrínsecamente mayor que los mezcladores perfectos, ya que los procesos de transferencia tienen lugar bajo condiciones de flujo pistón. De acuerdo con este mismo criterio de clasificación, las celdas de flotación pertenecen a la familia de los reactores de mezclamiento perfecto» (14).



**Figura 4. Celda de flotación columnar**  
**Fuente: Figueroa (14)**

- **Celdas de flotación modelo WEMCO.** Son equipos ampliamente utilizados en la industria minera para la separación de minerales en procesos de flotación. Desarrolladas por la empresa Frederik Læssøe Smidth (FLS), estas celdas están diseñadas para proporcionar una alta eficiencia en la separación y recuperación de minerales valiosos a partir de pulpas minerales.

- **Características principales**

- a. Diseño del impulsor**

Las celdas Wemco utilizan un impulsor mecánico de tipo rotatorio, conocido como impulsor Wemco. Este impulsor está diseñado para generar una turbulencia controlada en la pulpa, favoreciendo la formación de burbujas de aire y mejorando el contacto entre las partículas minerales y las burbujas. El impulsor se encuentra en la parte inferior de la celda, permitiendo una circulación eficiente de la pulpa y una adecuada dispersión de aire.

- b. Cuerpo y construcción**

Las celdas están construidas con materiales resistentes a la abrasión y la corrosión, como acero al carbono revestido o acero inoxidable, para soportar las condiciones agresivas de la pulpa mineral. El cuerpo de la celda es generalmente cilíndrico con una base cónica o plana, dependiendo del diseño específico. La configuración permite un flujo continuo y eficiente de la pulpa.

- c. Funcionamiento**

- c.1. Proceso de flotación**

- Introducción de pulpa: La pulpa mineral es introducida en la celda mediante una entrada ubicada en la parte superior o lateral. La pulpa contiene partículas minerales y agua.
- Generación de aire: El impulsor mecánico genera burbujas de aire al rotar, creando una turbulencia que facilita la formación de burbujas finas.
- Contacto partícula-burbuja: Las partículas minerales se adhieren a las burbujas de aire y ascienden a la superficie de la celda formando una espuma concentrada.
- Recuperación de concentrado: La espuma que se forma en la parte superior de la celda es recogida y desviada para su procesamiento adicional, mientras que el material no flotante se hunde en el fondo de la celda.

- c.2. Mezcla y circulación**

- Circulación de pulpa: La acción del impulsor y los deflectores asegura una circulación eficiente de la pulpa dentro de la celda, promoviendo una mezcla homogénea y evitando la formación de zonas muertas.

- Optimización del contacto: La correcta circulación y mezcla permiten un mejor contacto entre las partículas y las burbujas, lo que mejora la eficiencia del proceso de flotación.

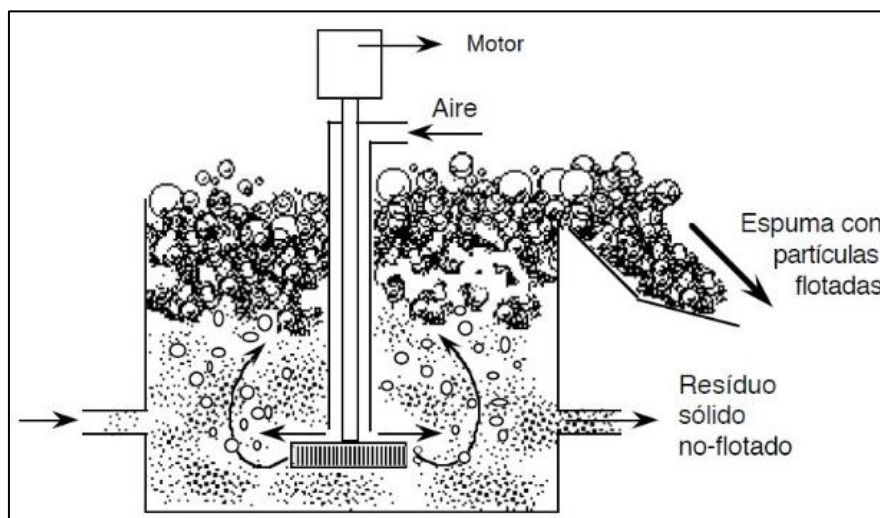
### c.3. Ventajas del modelo Wemco

- Alta eficiencia de separación: El diseño del impulsor y los deflectores contribuyen a una alta eficiencia en la separación de minerales.
- Robustez y durabilidad: Los materiales utilizados en la construcción de las celdas aseguran una larga vida útil y resistencia a condiciones operativas exigentes.
- Flexibilidad operativa: Las celdas Wemco pueden adaptarse a diferentes tipos de minerales y condiciones de operación, proporcionando versatilidad en su uso.

### c.4. Aplicaciones

Las celdas de flotación modelo Wemco se utilizan en diversas aplicaciones, incluyendo:

- Industria minera: Para la separación y concentración de minerales metálicos y no metálicos.
- Industria de procesos: En la recuperación de productos valiosos y la eliminación de impurezas.



*Figura 5. Comportamiento interno de las celdas de flotación*

*Fuente: <https://n9.cl/muvh6>*

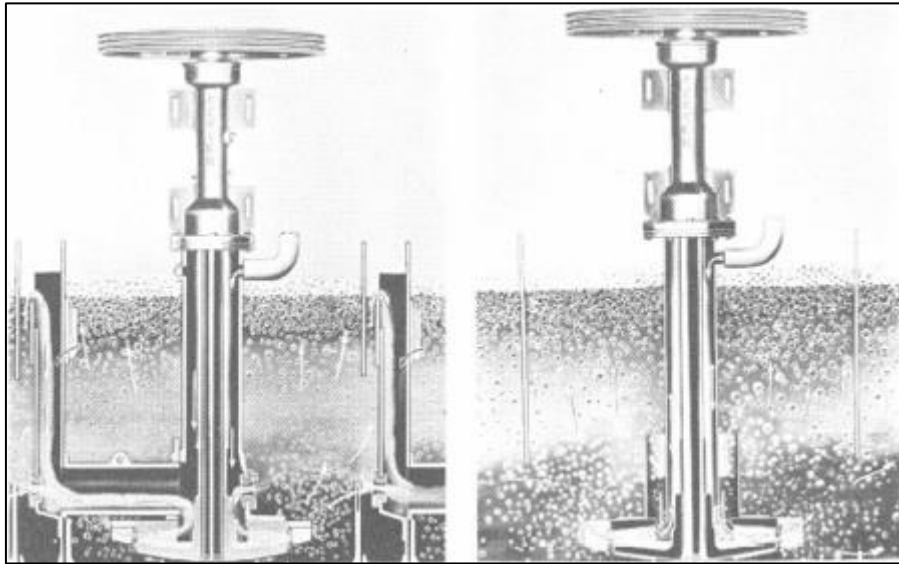
### 2.2.2. Deflector

Un deflector es un dispositivo o elemento diseñado para desviar, redirigir o modificar la dirección de algo, como el flujo de un fluido, partículas, luz u otros elementos en movimiento. La función específica de un deflector puede variar según su aplicación, pero generalmente está

destinado a influir en la dirección o el comportamiento de lo que lo atraviesa. Los deflectores están ubicados estratégicamente en la celda para dirigir el flujo hacia el impulsor y facilitar un proceso de flotación más eficiente.

Las aplicaciones pueden ser:

- Aeronáutica y automotriz
- Industria
- Construcción
- Tecnología de la proyección
- Industria Química



*Figura 6. Función del deflector*

*Fuente: <https://smatminerals.com/tag/celda-de-flotacion/>*

### 2.2.3. Teoría del rediseño de deflectores

#### a. Principios de rediseño

El rediseño de deflectores implica la modificación de sus características geométricas y funcionales para mejorar la eficiencia operativa. Los principios clave incluyen:

- **Mejora del contacto partícula-burbuja:** Diseñar deflectores que faciliten un mejor contacto entre las partículas minerales y las burbujas de aire.
- **Reducción de desgaste:** Seleccionar materiales y diseños que reduzcan el desgaste y la corrosión, prolongando la vida útil de los deflectores.



#### **b. Factores para considerar en el rediseño**

- **Geometría de los deflectores:** La forma y el ángulo de los deflectores afectan el flujo de pulpa y la eficiencia de flotación. El diseño debe ser revisado para asegurar una distribución adecuada del flujo.
- **Materiales de construcción:** Los deflectores deben estar hechos de materiales resistentes a la abrasión y a la corrosión, como acero inoxidable o compuestos cerámicos.
- **Diseño modular:** Considerar un diseño modular que permita un reemplazo rápido y sencillo de los deflectores, reduciendo el tiempo de mantenimiento.

#### **c. Métodos y herramientas para el rediseño**

- **Simulación computacional:** Utiliza herramientas de simulación de dinámica de fluidos (CFD) para modelar el comportamiento del flujo en la celda con los nuevos diseños de deflectores. Esto ayuda a prever el impacto de los cambios propuestos.
- **Prototipos y ensayos:** Construye prototipos de los deflectores rediseñados y realiza pruebas experimentales para validar las mejoras en el rendimiento y la durabilidad.
- **Monitoreo de desempeño:** Implementa un sistema de monitoreo para evaluar el desempeño de los deflectores en condiciones operativas reales.

#### **d. Beneficios del rediseño**

- **Aumento en la recuperación de minerales:** Un diseño optimizado puede mejorar la recuperación de minerales al mejorar el contacto entre partículas y burbujas.
- **Reducción de costos de mantenimiento:** La mejora en la durabilidad de los deflectores reduce la frecuencia de reemplazo y el costo asociado al mantenimiento.
- **Reducción del tiempo de inactividad:** Un diseño modular y de fácil mantenimiento reduce el tiempo de inactividad de la celda, aumentando la disponibilidad de la planta.
- **Mejora en la productividad:** La optimización del rendimiento de la celda contribuye a una mayor eficiencia general del proceso de flotación.

#### 2.2.4. Ecuaciones para cálculo de desgaste por impacto en deflectores

Calcular el desgaste por impacto en los deflectores de las celdas de flotación tipo Wemco es un desafío complejo debido a la naturaleza dinámica del proceso de flotación, que involucra la interacción entre partículas abrasivas, fluido y los componentes de la celda. Sin embargo, se pueden seguir ciertos pasos y utilizar modelos simplificados para estimar el desgaste. A continuación, te detallo un enfoque básico:

##### a. Determinación de parámetros iniciales

- Propiedades del material del deflector: Conocer la dureza (H), tenacidad, y otras propiedades mecánicas del material del deflector.
- Propiedades de las partículas: Tamaño, masa ( $m$ ), y velocidad ( $v$ ) de las partículas en la pulpa. Estas propiedades son fundamentales para calcular la energía cinética de las partículas.
- Condiciones de operación: Velocidad del flujo de pulpa, concentración de partículas, y la frecuencia de impacto.

##### b. Cálculo de la energía de impacto

Utiliza la ecuación de energía cinética obtenida de Sears y Zemansky (16) para calcular la energía transferida al deflector en cada impacto.

$$Ek = \frac{mv^2}{2} \dots \dots \dots ec. 1$$

Donde:

- $Ek$  es la energía cinética de una partícula.
- $m$  es la masa de la partícula.
- $v$  es la velocidad de la partícula al impactar el deflector.

##### c. Frecuencia de impacto

La frecuencia de impacto ( $f$ ) se refiere al número de impactos por unidad de tiempo que un deflector experimenta. Esto puede estar relacionado con la velocidad de la pulpa y la concentración de partículas. Para ello, aplicaremos la ecuación obtenida de White (17).

$$f = \frac{N_{partículas} \times v_{fluido}}{A_{deflector}} \dots \dots \dots ec. 2$$

Donde:

- $N$ partículas es el número de partículas en la pulpa.
- $v$ fluido es la velocidad del flujo de pulpa.
- $A$ deflector es el área superficial del deflector.

#### d. Cálculo del desgaste usando la Ley de desgaste de Archard modificada

Se puede utilizar una versión modificada de la Ley de desgaste de Archard obtenida de Johnson (18) para relacionar la energía de impacto y la resistencia del material con la cantidad de material desgastado.

$$V = k \frac{F \times d}{H} \dots \dots \dots ec. 3$$

Donde:

- $V$  es el volumen de material desgastado.
- $k$  es un coeficiente de desgaste específico del material y la configuración (adimensional).
- $F$  es la fuerza del impacto, que puede aproximarse como  $F=Ek/d_{impacto}$  donde  $d_{impacto}$  es la distancia de parada del impacto.
- $d$  es la distancia recorrida o el número de impactos en el tiempo considerado.
- $H$  es la dureza del material del deflector.

#### e. Estimación de la tasa de desgaste

Una vez que se tiene el volumen de material desgastado ( $V$ ), se puede calcular la tasa de desgaste ( $W$ ) aplicando la ecuación obtenida de Gwidon (19)

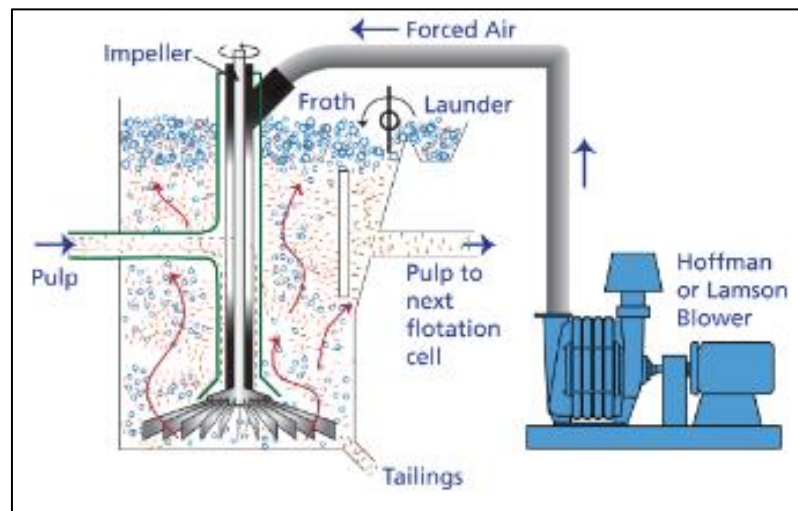
$$W = N \times V \dots \dots \dots ec. 4$$

Donde:  $N$  es el impacto por hora.

#### 2.2.5. Desgaste por impacto

Gómez (11) en su proyecto fin de máster indica que el desgaste por impacto se puede clasificar en dos categorías principales: el desgaste erosivo, que ocurre debido al impacto aleatorio de partículas, y el desgaste percusivo, que se debe a impactos repetidos en una misma área. La erosión se produce cuando partículas sólidas pequeñas, transportadas por un fluido como aire o agua, o incluso gotas líquidas, impactan contra una superficie. Por otro lado, la

percusión se manifiesta mediante impactos repetidos de cuerpos sólidos más grandes. La siguiente figura ilustra el proceso de erosión generado por la colisión de partículas sólidas. Este tipo de desgaste es una forma de abrasión, aunque se trata de manera distinta, ya que la presión de contacto aumenta conforme lo hace la energía cinética de las partículas en un flujo de aire o líquido al chocar contra la superficie. La energía cinética de las partículas se ve influenciada por su velocidad, el ángulo de impacto y su tamaño medio.



*Figura 7. Causas del desgaste por impacto*

*Fuente: <https://www.hoffmanandlamson.com/es-ar/industries/general-industry/froth-floatation>*

#### **2.2.6. Plan de mantenimiento**

La definición de un plan de mantenimiento según García (12): es necesario planificar la realización de este plan. Planificar significa cuando y quien realizará cada una de las gamas y rutas que componen el plan.

La planificación de las rutas diarias es muy sencilla: por definición, hay que realizarlas todos los días, por lo que será necesario sencillamente determinar a qué hora se realizarán, y quién es el responsable de llevarlas a cabo.

La planificación de las rutas semanales exige determinar qué día de la semana se ejecuta cada una de ellas y, como siempre, quién será el responsable de realizarla. Es muy importante determinar con precisión este extremo. Si se elabora una gama o una ruta, pero no se determina con claridad quién o quiénes son los responsables de realizarla, se estará dejando indeterminaciones que se traducirán, casi invariablemente, en la no-realización de estas tareas.

Para asegurar que una tarea se realizará es necesario, pues:

- Fijar quién es el responsable de realizarla

- Asegurarse de que en el momento en que tenga que realizarla no tendrá otra tarea que realizar.

El plan de mantenimiento engloba tres tipos de actividades:

- Las actividades rutinarias que se realizan a diario, y que normalmente las lleva a cabo el equipo de operación.
- Las actividades programadas que se realizan a lo largo del año.
- Las actividades que se realizan durante las paradas programadas.
- Las tareas de mantenimiento son, como ya se ha dicho, la base de un plan de mantenimiento. Las diferentes formas de realizar un plan de mantenimiento que se describen en los capítulos siguientes no son más que formas de determinar las tareas de mantenimiento que compondrán el plan.

### **2.2.7. Estrategia de mantenimiento**

Para Pascual (13), el mantenimiento es una metodología que agrupa tareas o actividades que busca evitar, examinar y mitigar el deterioro de los equipos por las jornadas de trabajo o el transcurso del tiempo, a fin de garantizar un desempeño eficiente de los activos. A continuación, se definirá los tipos de estrategias de mantenimiento existentes.

- **Estrategia de mantenimiento correctivo**

Para Pascual (13), el mantenimiento correctivo es un grupo de tareas destinadas a arreglar las averías imprevistas que surgen durante la jornada laboral, por lo que depende las paradas para su corrección e identificación, esta metodología de trabajo de bajo costo al no existir planificación concluye a la alta probabilidad de no poseer los repuestos para recambio generando la baja confiabilidad de los activos.

- **Estrategia de mantenimiento preventivo**

Para Pascual (13), esta estrategia mejora el mantenimiento correctivo, ya que agrega al conjunto de tareas el monitoreo de los componentes o equipos con la finalidad de reducir las posibles averías interviniendo los equipos adelantándose al tiempo de vida útil de los elementos, registrando parámetros de funcionamiento, realizando paradas de limpieza, lubricación e inspecciones de aceite, entre otras actividades según se requiera.

- **Estrategia de mantenimiento predictivo**

Técnicas que utilizan datos y análisis para predecir cuándo es probable que ocurra una falla. Para ello, se utilizarían las siguientes herramientas y técnicas que permitirá realizar intervenciones antes de que las fallas ocurran, minimizando el tiempo de inactividad.:

- Monitoreo de vibraciones para detectar desequilibrios o desgastes.
- Análisis de aceite para identificar contaminación o desgaste de componentes.
- Termografía para detectar problemas de sobrecalentamiento.

- **Procedimientos de mantenimiento específicos para deflectores**

**Inspección y evaluación**

- **Frecuencia de inspección:** Establecer un programa de inspección regular para evaluar el estado de los deflectores y otros componentes.
- **Métodos de evaluación:** Utilizar técnicas visuales, mediciones de desgaste y pruebas operativas para evaluar el estado de los deflectores.

**Mantenimiento preventivo y correctivo**

- **Reemplazo de deflectores:** Realizar el reemplazo de deflectores desgastados o dañados siguiendo las recomendaciones del fabricante.
- **Ajustes y reparaciones:** Ajustar los deflectores para mantener el flujo óptimo y reparar cualquier daño o desgaste detectado durante las inspecciones.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Método, tipo o alcance de la investigación**

##### **3.1.1. Método de investigación**

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación, se utilizó el método inductivo que usa observaciones y casos específicos hacia la formulación de principios generales o conclusiones de aplicación más amplia. Se usó para ello, los conocimientos obtenidos del análisis y rediseño de deflectores de una celda para generalizarla en las demás celdas.

##### **3.1.2. Tipo de investigación**

Según Hernández (15), el tipo de investigación que se empleó en el desarrollo del presente trabajo es del tipo aplicado que tiene como objetivo obtener las pautas para resolver problemas de la realidad con base empírica debido a que utiliza conocimientos teóricos de la ciencia y es contrastado en la práctica.

##### **3.1.3. Nivel de la investigación**

El nivel de investigación que se empleó para el desarrollo del presente trabajo es del tipo exploratorio cuya finalidad es estudiar problemas que son conocidos incipientemente o poco estudiados de tal manera que sirva para obtener una comprensión general y también de referencia para orientar investigaciones futuras (15).

### 3.2. Diseño de la investigación

El diseño de investigación que se empleó para el desarrollo del presente trabajo es experimental porque se manipulan intencionalmente una o más variables independientes para contrastar las consecuencias que de ella derivan.

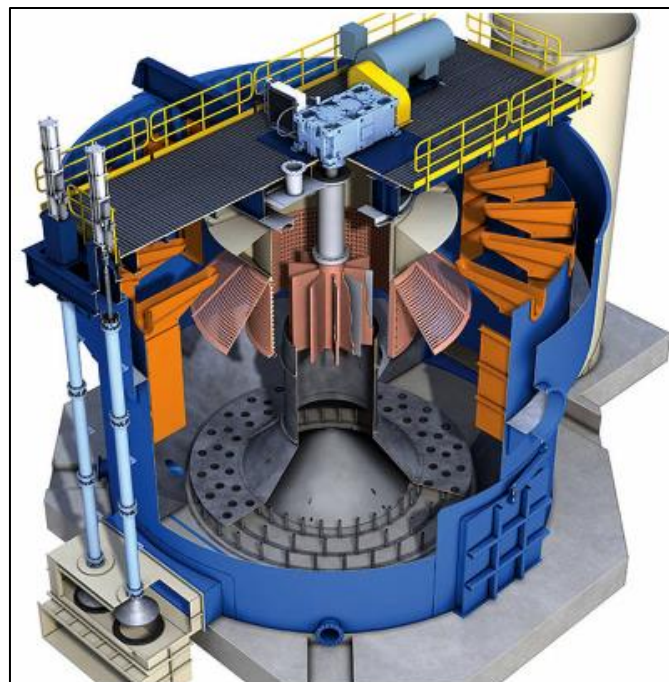
### 3.3. Población y muestra

La población «es el conjunto de todos los elementos que pertenecen al ámbito espacial donde se desarrolla el trabajo de investigación» (15).

Asimismo, indica que la muestra «es una parte o fragmento representativo de la población cuyas características esenciales son las de ser objetivas y fiel reflejo de ella para que puedan generalizarse los resultados obtenidos» (15).

El tipo de muestreo es por conveniencia que «se escoge de acuerdo con la conveniencia del investigador permitiéndose elegir de manera arbitraria cuántos participantes puede haber en el estudio» (debido a que se escogieron aquellos deflectores que pertenecen a las celdas de las que se tiene mayor información) (15).

Como población y muestra del presente estudio se tomó en cuenta los 48 deflectores de las 4 celdas de flotación modelo Wemco con códigos internos FTR 010, FTR 016, FTR 023 y FTR 028.



*Figura 8. Estructura interna de una celda de flotación  
Fuente: <https://n9.cl/8welbv>*



### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Las técnicas de investigación son «el conjunto de reglas y pautas que guían las actividades que realizan los investigadores en cada una de las etapas de la investigación científica» (15).

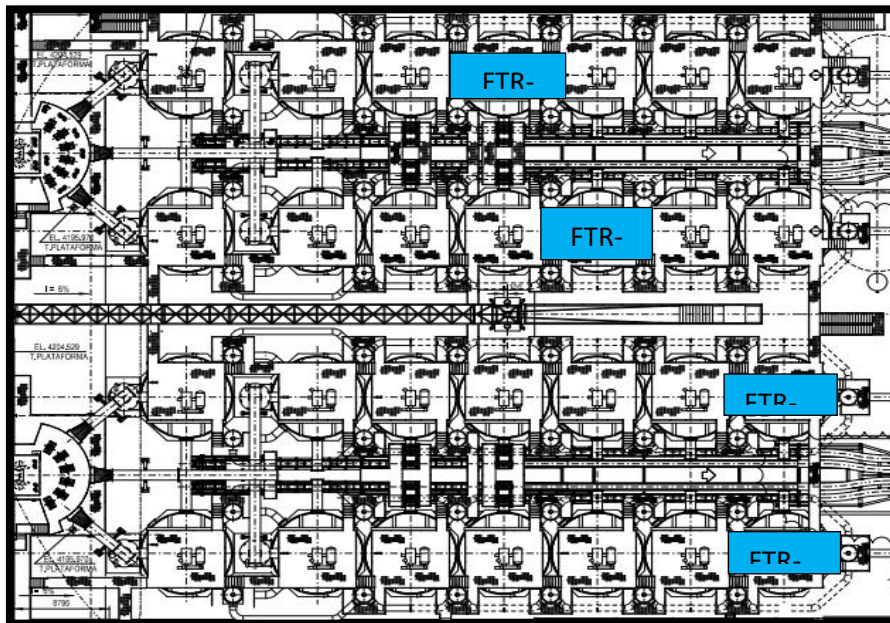
- Los instrumentos de recolección por utilizar fueron la base de datos del área de mantenimiento: reportes de operación, manuales de mantenimiento y operación de las celdas de flotación.
- La información se recolectó de acuerdo con los informes técnicos de fallas e intervención mecánica

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

En la figura 9, se puede observar la disposición de las celdas de flotación de modelo Wemco con códigos internos FTR 010, FTR 016, FTR 023 y FTR 028. dentro del sistema de flotación.



*Figura 9. Celdas de flotación escogidas para trabajo  
Fuente: Área de planeamiento de minera Las Bambas*

El desgaste por impacto en celdas de flotación tipo Wemco es un fenómeno importante por considerar debido a las condiciones operativas que involucran la agitación de partículas abrasivas, como minerales y reactivos, en un medio acuoso. Las celdas de flotación están

diseñadas para separar minerales valiosos del material no deseado mediante la inyección de aire y la creación de burbujas, que atrapan las partículas valiosas y las llevan a la superficie para su recolección.

#### **4.1.1. Zonas críticas de desgaste por impacto en celdas Wemco**

##### **a. Impulsores y difusores**

- Los impulsores (rotor) son componentes clave que generan la mezcla y dispersión de aire en la pulpa mineral. Estos están expuestos a un impacto continuo de partículas minerales a alta velocidad, lo que puede llevar a un desgaste significativo.
- Los difusores, que distribuyen el flujo de aire y la pulpa, también sufren desgaste por impacto debido a la turbulencia generada por la alta velocidad del rotor.

##### **b. Paredes de la celda**

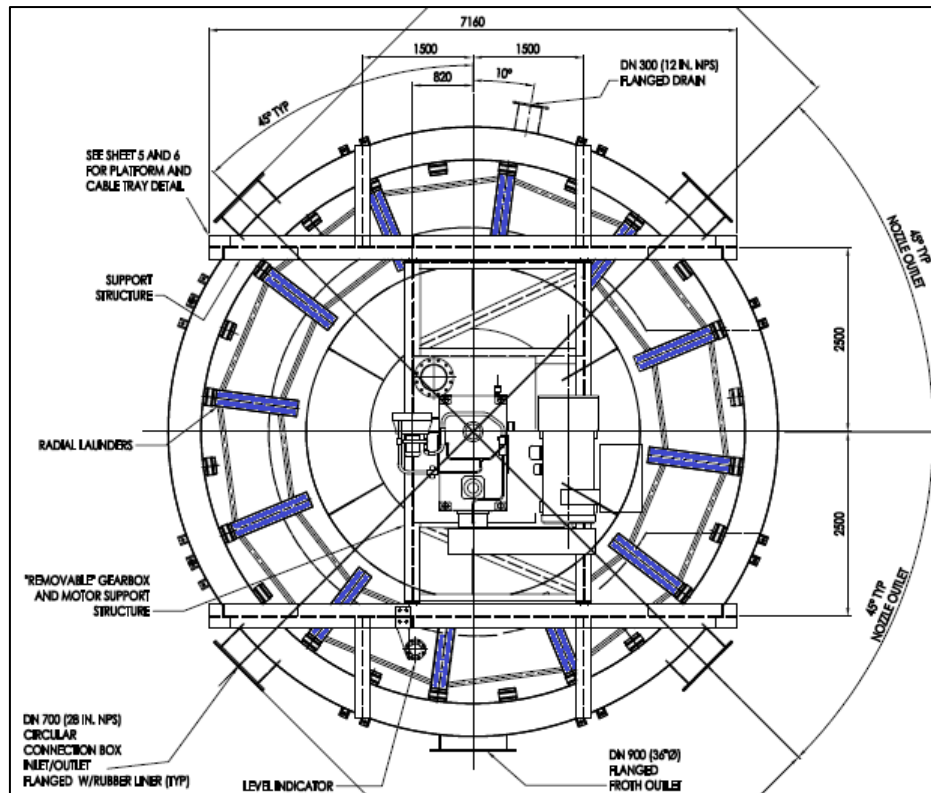
Las paredes internas de la celda de flotación están en contacto constante con la pulpa abrasiva y pueden experimentar desgaste por impacto, especialmente en las áreas cercanas al impulsor, donde las velocidades de las partículas son más altas.

##### **c. Tubos de aireación y tuberías de alimentación**

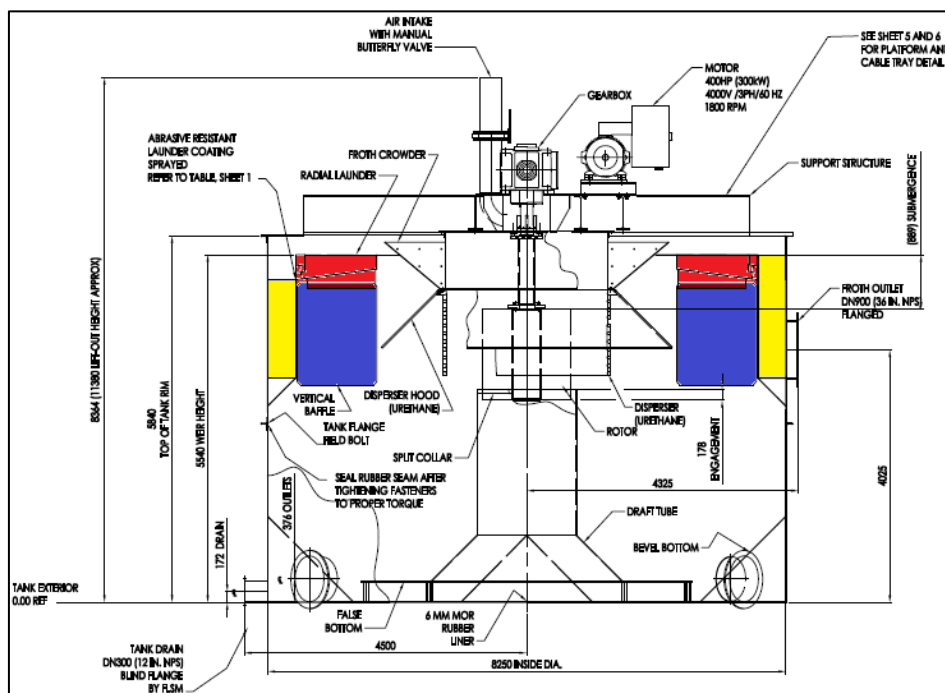
Estos componentes pueden sufrir desgaste debido al impacto de partículas suspendidas en la corriente de aire y pulpa, lo que puede llevar a una reducción de la eficiencia de aireación y flujo.

##### **d. Mecanismos de desgaste**

- **Impacto de partículas:** Las partículas en suspensión golpean repetidamente las superficies de los componentes internos, causando deformación plástica, microfisuras y eventualmente la pérdida de material.
- **Abrasión y erosión:** Además del impacto, la fricción continua entre las partículas minerales y las superficies de la celda contribuye al desgaste por abrasión y erosión.

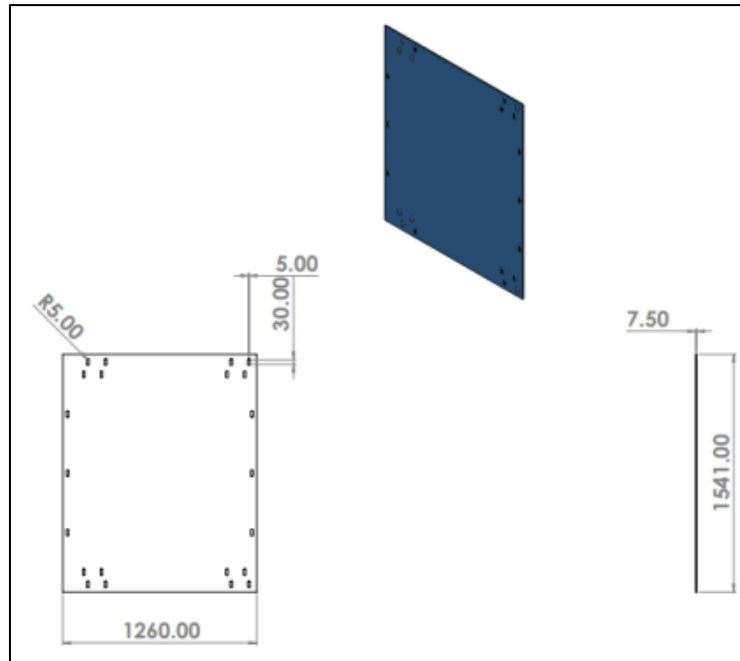


**Figura 10. Vista superior de la celda de flotación**  
**Fuente: Área de planeamiento de minera Las Bambas**

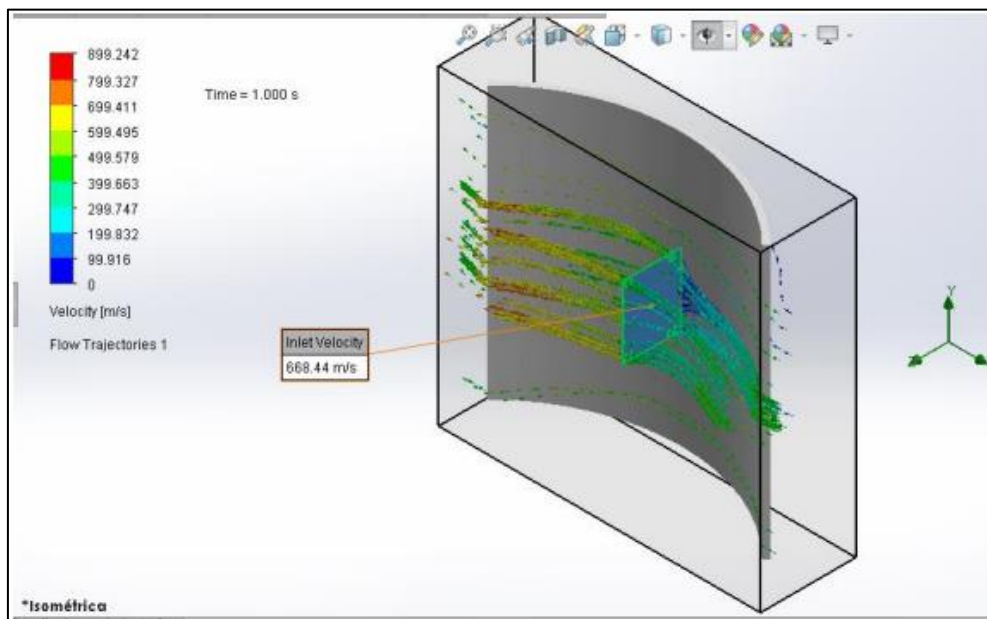


**Figura 11. Vista frontal de la celda de flotación**  
**Fuente: Área de planeamiento de minera Las Bambas**

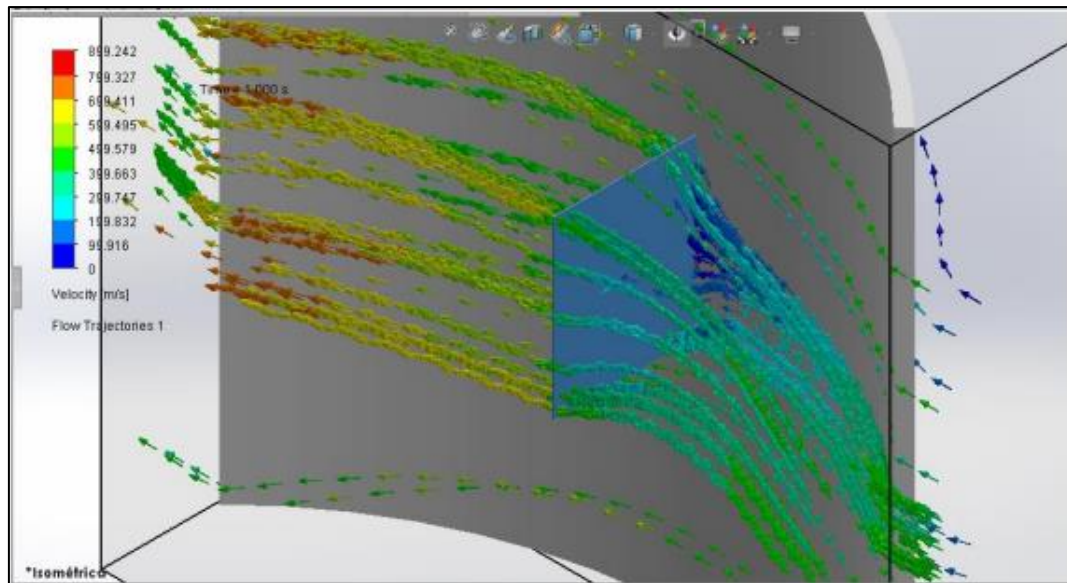
Para determinar los efectos que genera la pulpa del mineral en los deflectores internos, se procedió a realizar la simulación utilizando el *software* Solidworks, que se muestra a continuación:



*Figura 12. Dimensiones de deflector*



*Figura 13. Comportamiento de fluido con deflector*



**Figura 14. Comportamiento de fluido con deflector N.º 2**

Como pudo observarse en las imágenes anteriores, la pulpa genera un desgaste principalmente por impacto debido a las condiciones operativas que inciden en la agitación de partículas abrasivas como minerales y reactivos presentes en el fluido.

El desgaste por impacto en los deflectores de las celdas de flotación tipo Wemco es un problema significativo, ya que estos componentes están diseñados para dirigir el flujo de pulpa y aire, asegurando una adecuada mezcla y circulación dentro de la celda. Los deflectores están expuestos a un entorno altamente abrasivo y a impactos repetidos por las partículas minerales en suspensión, lo que puede llevar a un desgaste acelerado y una eventual reducción en la eficiencia de la flotación.

#### **e. Mecanismos de desgaste por impacto en deflectores**

- **Impacto directo de partículas**

Las partículas sólidas en la pulpa, especialmente las de mayor tamaño y dureza, pueden chocar contra los deflectores con alta energía cinética, causando deformación plástica, grietas superficiales, y la pérdida progresiva de material en las zonas de mayor exposición.

- **Erosión abrasiva**

Además del impacto, los deflectores sufren erosión abrasiva debido al deslizamiento continuo de las partículas en la superficie del deflector. Este fenómeno se acentúa en áreas donde la velocidad del fluido es mayor, como en los bordes de los deflectores o en las zonas cercanas al impulsor.

- **Cavitación**

En algunos casos, la cavitación, causada por la formación y colapso de burbujas de vapor cerca de la superficie del deflector, también puede contribuir al desgaste, aunque este efecto es generalmente menos común que el impacto directo.

**f. Consecuencias del desgaste en deflectores**

- **Pérdida de eficiencia:** A medida que los deflectores se desgastan, su capacidad para redirigir el flujo de pulpa y aire de manera efectiva se reduce, lo que puede afectar la eficiencia de la flotación y la calidad del concentrado.
- **Aumento de la turbulencia:** El desgaste irregular de los deflectores puede llevar a una mayor turbulencia dentro de la celda, lo que podría reducir la selectividad del proceso de flotación y aumentar el consumo de energía.
- **Fallos mecánicos:** Un desgaste severo puede llevar a la fractura o al fallo completo de los deflectores, lo que requiere paradas de mantenimiento no planificadas y aumenta los costos operativos.
- **Modelado y cálculo del desgaste**

Calcular el desgaste por impacto en los deflectores de las celdas de flotación tipo Wemco es un desafío complejo debido a la naturaleza dinámica del proceso de flotación, que involucra la interacción entre partículas abrasivas, fluido y los componentes de la celda. Sin embargo, se pueden seguir ciertos pasos y utilizar modelos simplificados para estimar el desgaste. A continuación, te detallo un enfoque básico:

**4.1.2. Análisis del estado inicial de los deflectores**

**a. Propiedades del material del deflector**

El acero A36 (norma ASTM A36) es uno de los aceros estructurales de carbono más utilizados, aunque el contenido de carbono del acero estructural A36 es de un máximo de 0.29 %, se considera acero suave (contenido de carbono  $\leq 0.25$  %).

Notas: Existen dos versiones que definen el acero con bajo contenido de carbono, una con un contenido de carbono entre 0.04 % (0.05 %) y 0.25 % y la otra con entre 0.04 % (0.05 %) y 0.29 %, el acero estructural A36 tiene buena soldabilidad. Se presenta la tabla 1 de propiedades mecánicas del acero ASTM A36.

**Tabla 1. Propiedades mecánicas del acero ASTM A36**

Propiedades mecánicas		Notas
<b>Resistencia a la tracción, MPa (ksi)</b>	400-550 (58-80)	Placas de acero, formas y barras
<b>Limite elástico (Esfuerzo de fluencia), MPa (ksi), ≥</b>	250 (36) 220 (32)	Espeor ≤ 200mm (8 in) Espesor de placas de acero > 200mm (8 in)
<b>Elongación, %, ≥</b>	20 23	Placas y barras en 200 mm (8 in) Placas y barras en 50 mm (2 in)
<b>Dureza Brinell</b>	119-162 HB 400-550 MPa	Basado en la conversión de resistencia a la tracción
<b>Módulo de elasticidad, GPa (ksi)</b>	200 (29×103)	–
<b>Prueba de impacto Charpy con muesca en V, J (ft·lbf), ≥</b>	27 (20)	Formas estructurales, ubicación alternativa del núcleo
<b>Módulo de corte, GPa (ksi)</b>	79.3 (11.5×103)	–
<b>Fy del acero A36 (Limite de fluencia), MPa (ksi), ≥</b>	250 (36)	–

**b. Propiedades de las partículas**

Se consideraron los siguientes datos, utilizando referencias de metalurgia como Mاتيolo (10), así tenemos:

- Densidad de la pulpa 1350 kg/m<sup>3</sup>
- Masa de las partículas de pulpa.
- Hallando el volumen de la esfera, cuyo radio, r, es de 5 μm

$$V_{esf} = \frac{4\pi r^3}{3} = \frac{4\pi(5 \times 10^{-6})^3}{3} = 5.24 \times 10^{-16} m^3$$

$$Masa\ part = Densidad \times Volumen = 1350\ kg/m^3 \times 5.24 \times 10^{-16} m^3$$

$$Masa\ part = 7.074 \times 10^{-13}\ kg$$

- Radio de cálculo de velocidad de la partícula 2.098m
- RPM medio del dispersador de la celda de flotación 30 rpm
- Velocidad de la partícula al impactar el deflector 11.22 m/s
- Coeficiente de desgaste específico ASTM A36 es  $k=0.5$
- Distancia de impacto 0.01 m
- Tiempo de operación  $t = 24$  horas

Utilizando las ecuaciones 1, 2, 3 y 4 de las bases teóricas y la tabla de propiedades del deflector se calcula el desgaste por impacto de los deflectores.



**1. Hallando la energía de impacto de las partículas de la pulpa**

$$Ek = \frac{1}{2} \times 7.074 \times 10^{-13} \text{kg} \times (11.22 \text{ m/s})^2$$

$$Ek = 445.27 \times 10^{-13} \text{ J}$$

**2. Hallando la fuerza del impacto de las partículas de la pulpa**

$$F = \frac{Ek}{d_{\text{impacto}}} = \frac{445.27 \times 10^{-13} \text{ J}}{0.01 \text{ m}}$$

$$F = 0.4453 \times 10^{-8} \text{ N}$$

**3. Hallando el volumen de desgaste generado por las partículas de la pulpa utilizando**

$$V = k \frac{F \times d}{H} = 0,5 \frac{0.4453 \times 10^{-8} \text{ N} \times 2.098 \text{ m}}{550 \times 10^6 \text{ N/m}^2}$$

$$V = 0.0849 \times 10^{-18} \text{ m}^3$$

**4. Hallando la tasa de desgaste**

$$W = N \times V$$

Para ello, se calcula N

**• Volumen de fluido que atraviesa el deflector por segundo**

$$V_{\text{fluido}} = v_{\text{fluido}} \times A_{\text{deflector}} = 11.22 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 1.26 \text{ m} \times 1.541 \text{ m}$$

$$V_{\text{fluido}} = 21.78 \text{ m}^3/\text{s}$$

**• Concentración de partículas:  $C = 10^6$  partículas /m<sup>3</sup>**

- **Número de partículas que impactan por segundo**

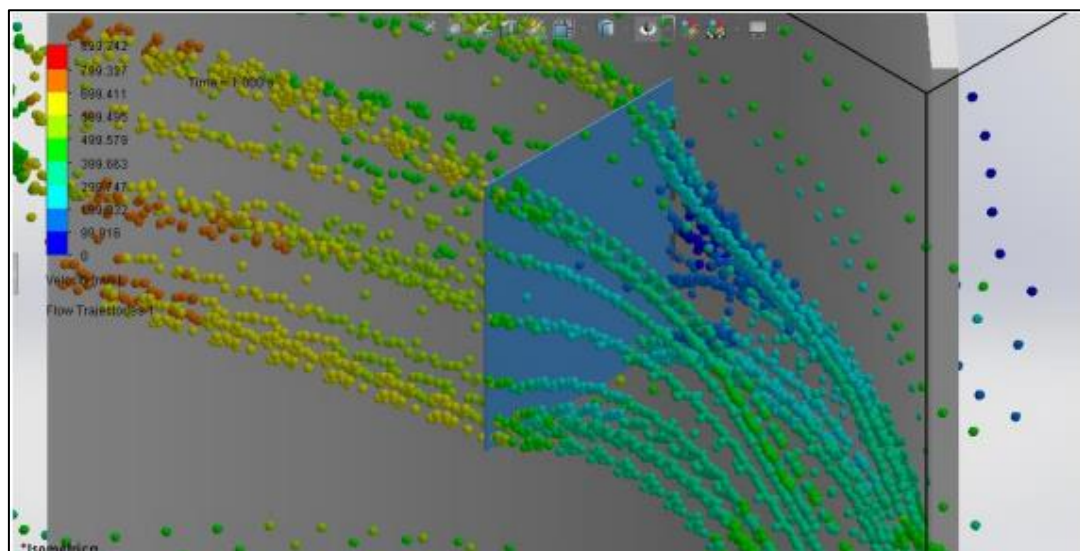
$$N \text{ partículas/seg} = C \times V \text{ fluido} = 10^6 \text{ partículas /m}^3 \times 21.78 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 21.78 \times 10^6 \text{ partículas / s}$$

- **Número de partículas que impactan por hora**

$$N \text{ partículas/h} = 21.78 \times 10^6 \times 3600 \text{s} = 78.41 \times 10^9 \text{ partículas/h}$$

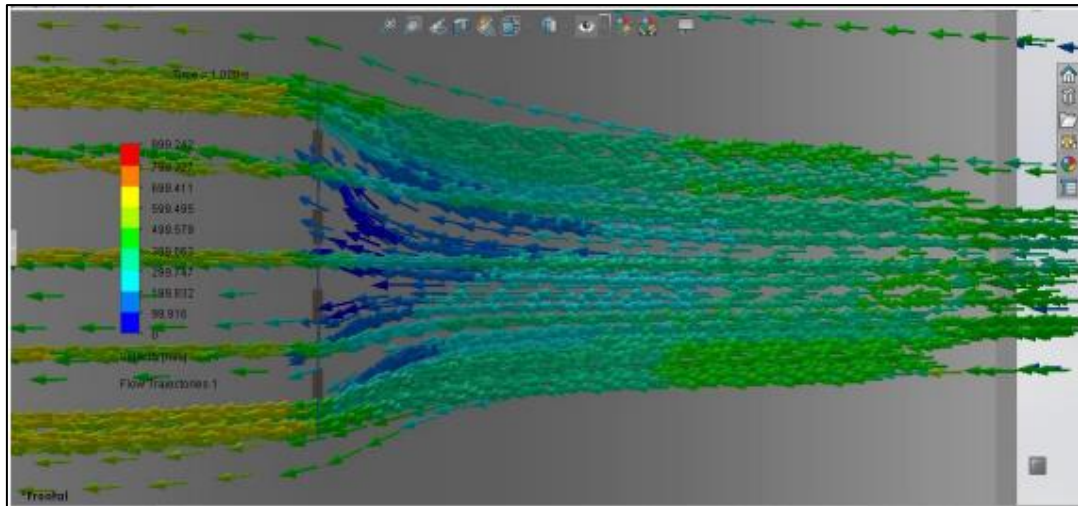
**c. Simulación de deflector original**

Con los datos obtenidos para realizar los cálculos en el apartado anterior, se simularon en software SolidWorks a fin de observar los efectos que generan las partículas de la pulpa en los deflectores.



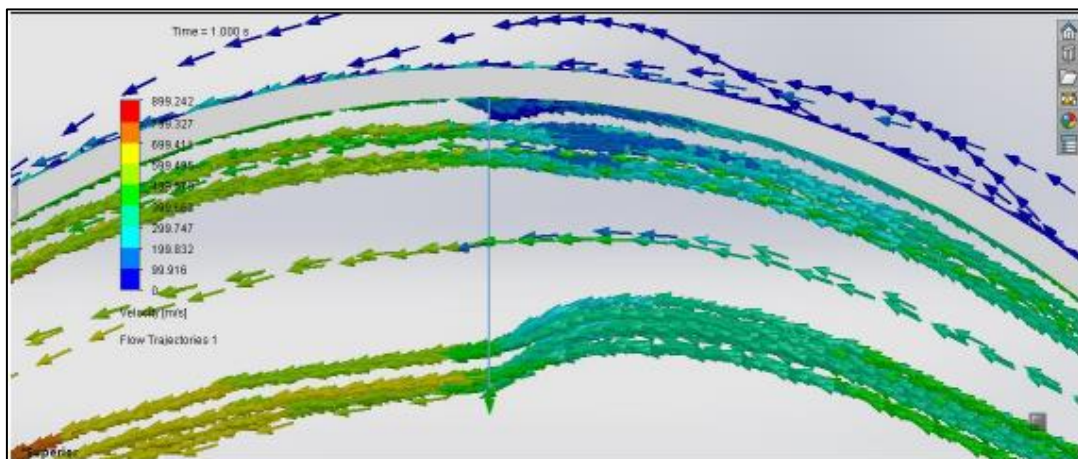
*Figura 15. Comportamiento de fluido con deflector N° 3*

En la figura 16, se observa la vista de perfil del comportamiento del flujo de la pulpa en el deflector original.



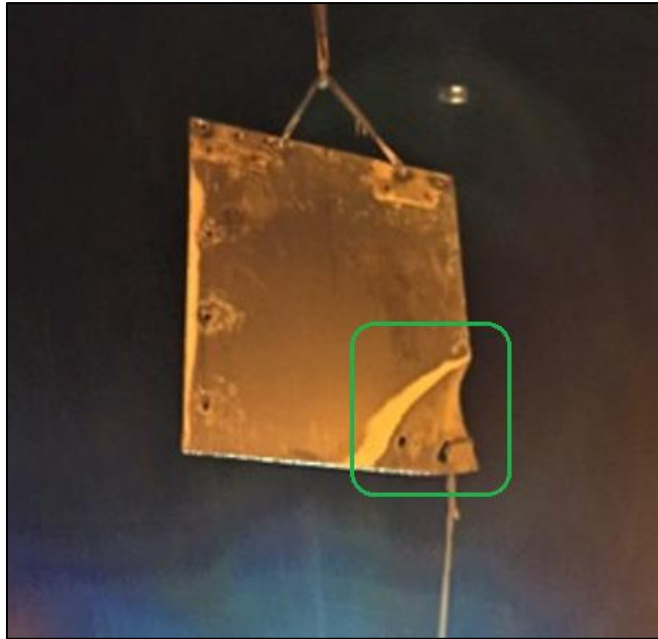
*Figura 16. Vista de perfil del comportamiento de fluido*

En la figura 17, se observa la vista superior del comportamiento del flujo de la pulpa en el deflector original.



*Figura 17. Vista superior del comportamiento de fluido*

Como se vio en las figuras anteriores, se observa que los principales efectos que genera el flujo se ubican en los ángulos internos y vértices. Para el caso específico de los deflectores en estudio, se obtuvieron muestras de deflectores reales con efectos importantes de desgaste por impacto, todos ellos con patrones similares en el vértice izquierdo inferior como se muestran en las Figuras 18, 19, 20 y 21.



*Figura 18. Estado de deflector*

En las siguientes figuras se muestran los efectos generados por el desgaste por impacto en los vértices de los deflectores. Si bien las características específicas de estos son diferentes, podemos notar patrones similares como deformación plástica, presencia de desgaste abrasivo y erosivo.

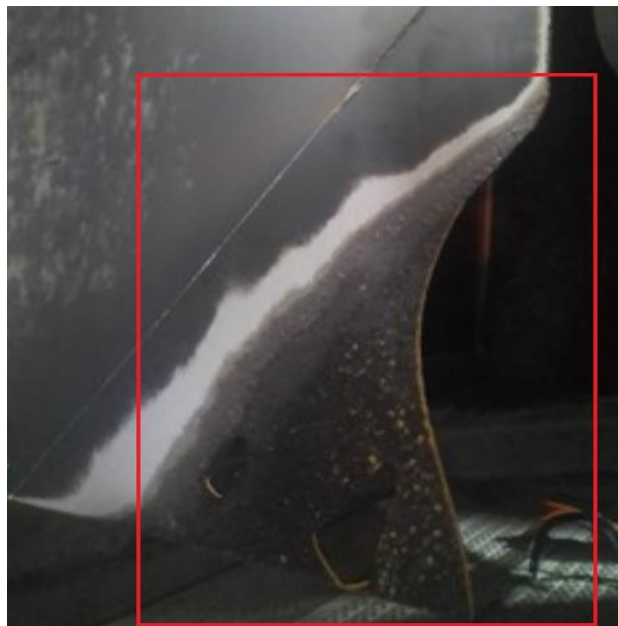


*Figura 19. Estado de deflector N.º 2*



*Figura 20. Estado de deflector N° 03*

En la figura anterior y en la siguiente se puede notar incluso que el desgaste ha generado agujeros en los deflectores alterando su estructura.



*Figura 21. Estado de deflector N° 04*

Tomando como referencia que los efectos del desgaste por impacto principalmente se generaron en el vértice inferior izquierdo de los deflectores y que este representaba un patrón en la mayoría de los deflectores de las celdas de flotación, se procedió a realizar la medición de los vértices a fin de determinar las dimensiones específicas para implementar la mejora propuesta.



*Figura 22. Toma de medidas de deflector dañado*

Es así que se obtuvieron las dimensiones de los vértices con presencia de desgaste por impacto. Ver tabla 2.



Tabla 2. Inspección de desgaste de deflectores

**ISOMETRIC VIEW**  
(TANK NOT SHOWN FOR CLARITY)

INSPECCION DE DESGASTE POR IMPACTO DE DEFLECTORES																								
FTR	Medición de Vértices de Deflectores (mm)																							
	D1		D2		D3		D4		D5		D6		D7		D8		D9		D10		D11		D12	
VÉRTICE	VH	VV	VH	VV	VH	VV	VH	VV	VH	VV	VH	VV	VH	VV	VH	VV	VH	VV	VH	VV	VH	VV	VH	VV
FTR - 010	X	X	750	735	X	734	X	X	680	710	X	X	X	X	X	X	752	761	726	727	735	746	X	X
FTR - 016	735	742	X	X	X	X	680	695	X	X	X	X	X	X	768	789	X	X	X	X	X	X	769	774
FTR - 023	X	X	695	710	768	756	X	X	X	X	X	X	754	756	X	X	715	723	X	X	745	786	X	X
FTR - 028	723	743	X	X	689	670	X	X	710	745	756	781	X	X	X	X	X	X	734	756	X	X	765	786
VH: Vértice inferior horizontal																								
VV: Vértice inferior vertical																								

### 4.1.3. Análisis de deflector modificado

El objetivo de la modificación de las celdas al fijar los segmentos de planchas es proponer una alternativa de bajar los costos de mantenimiento en los deflectores de las celdas FTR, ya que al tener estos segmentos triangulares desmontables se facilita el reemplazo de los mismos, donde no será necesario cambiar todo el reflector, solo se cambiará la parte empernada del segmento.

Para ello, se procedió a realizar la lista de exigencias del deflector con las funciones que debe cumplir, así tenemos:

**Tabla 3. Lista de exigencias**

LISTA DE EXIGENCIA			EDICIÓN REV.1
"REDISEÑO DE DEFLECTORES PARA OPTIMIZAR EL MANTENIMIENTO DE CELDAS DE FLOTACIÓN MODELO WEMCO EN UNIDAD MINERA LAS BAMBAS"			FECHA: 05-05-24
			REVISADO: J.L.
Cliente: Minera Las Bambas			ELABORADO: J.J.P.I.
CAMBIOS (FECHA)	Deseo o Exigencia	Descripción	Responsable
5/05/2024	E	<p><b>FUNCIÓN PRINCIPAL:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Optimización del Rendimiento: Aumentar la eficiencia del proceso de flotación al mejorar el diseño de los deflectores, lo que podría resultar en una mejor recuperación de minerales.</li> <li>-Facilitar el Mantenimiento: Diseñar deflectores que sean más fáciles de mantener y reparar, reduciendo tiempos de parada y costos asociados.</li> <li>-Reducir el Desgaste: Minimizar el desgaste de los componentes al mejorar la distribución del flujo de pulpa, prolongando la vida útil de las celdas.</li> <li>-Incrementar la Seguridad: Implementar cambios que también consideren la seguridad del personal durante las labores de mantenimiento.</li> <li>-Mejrar la Operación: Optimizar la interacción de los deflectores con otros elementos del sistema para asegurar un funcionamiento más uniforme y eficiente.</li> </ul>	J.J.P.I.
5/05/2024	E	<p><b>GEOMETRÍA:</b></p> <p>Platina con las medidas de un cudrilatero con base inferior de 1331 mm, con base inferior 932 mm con un grado de 45° de base de 200 y altura de 200; las medidas del triangulo que servira para la modificación del deflector son las medidas de base 780mm altura de 780 y el diametro es de 932 mm.</p>	J.J.P.I.



5/05/2024	E	<p><b>FUERZAS:</b> El peso del refuerzo tiene el peso de (40 kg), la pestaña tiene el peso de (25 kg). Como también se da a conocer la <b>energía de impactos de partículas de la pulpa</b> <math>EK = 445.27 \cdot 10^{(-12)}</math>; <b>Fuerza de impacto</b> <math>F = EK / (d \text{ impacto}) = (445.27 \cdot 10^{(-13)} \text{ J}) / 0.01</math>;</p>	J.J.P.I.
5/05/2024	E	<p><b>MATERIAL:</b> Para la fabricación se necesita una plancha A36, con pintura epoxica color gris, se utiliza también perno zincado 5/8" de grado de 8.8</p>	J.J.P.I.
5/05/2024	E	<p><b>SEGURIDAD:</b> En la sección de Seguridad de tu tesis sobre el rediseño de deflectores para celdas de flotación, podrías abordar los siguientes temas:</p> <p><b>1. Seguridad Operativa</b> Riesgos Asociados: Identifica y describe los riesgos operativos relacionados con el funcionamiento de las celdas de flotación y el mantenimiento de los deflectores, como caídas, contacto con productos químicos o lesiones por maquinaria en movimiento. Normativas de Seguridad: Menciona las normativas y estándares de seguridad aplicables en el contexto de la minería y el procesamiento de minerales, que deben ser cumplidos.</p> <p><b>2. Diseño Seguro de Deflectores</b> Ergonomía y Accesibilidad: Explica cómo el rediseño de los deflectores mejora la ergonomía y facilita el acceso para el mantenimiento, reduciendo el riesgo de accidentes. Materiales y Construcción: Comenta sobre la elección de materiales que no solo optimizan el rendimiento, sino que también son seguros y resistentes al desgaste y a la corrosión.</p> <p><b>3. Procedimientos de Mantenimiento Seguro</b> Protocolos de Mantenimiento: Presenta protocolos que aseguren que las actividades de mantenimiento se realicen de manera segura, incluyendo el uso de equipo de protección personal (EPP) y procedimientos de bloqueo y etiquetado. Capacitación del Personal: Destaca la importancia de la capacitación continua del personal en prácticas de seguridad, manejo de equipos y respuesta ante emergencias.</p> <p><b>4. Monitoreo y Evaluación de Riesgos</b> Análisis de Riesgos: Describe el proceso de identificación y evaluación de riesgos asociados con el mantenimiento y operación de las celdas de flotación y cómo el nuevo diseño puede mitigar esos riesgos. Inspecciones Regulares: Propón la implementación de un programa de inspecciones regulares para detectar problemas de seguridad antes de que se conviertan en accidentes.</p>	J.J.P.I.
5/05/2024	E	<p><b>ERGONOMÍA:</b> Los injertos que se están presentando como mejora estos no pesan más de 50kg, de tal manera que los mecánicos al momento de realizar el montaje no tendrán problemas con la ergonomía de tal manera se minimiza el peligro común en los trabajos con enfermedad pre ocupacional, de tal manera también el ingreso se puede ingresar por los manholes de las válvulas dado que tienen.</p>	J.J.P.I.
5/05/2024	E	<p><b>FABRICACIÓN:</b> La producción de las piezas de la cubierta se llevará a cabo en un taller mecánico equipado con las herramientas de manufactura básicas, como taladros verticales, máquinas plegadoras, cortadoras, mesas con tornillos de banco, así como diversas herramientas e instrumentos manuales.</p>	J.J.P.I.

5/05/2024	E	<b>MONTAJE Y DESMONTAJE:</b> Para realizar la modificación de los deflectores se va a realizar realizando el corte diagonal según las medidas que se indican en el plano, luego de ello se colocara platinas con 5 agujeros para colocar los pernos de 5/8" y colocar el injerto conjuntamente con la pestaña para asegurar ante las fuerzas hidrodinamicas de que aplica la pulpa, prosiguiente se realizara el seguimiento para cambios mas faciles	J.J.P.I.
5/05/2024	E	<b>TRANSPORTE:</b> Para poder transportar se realizara en una camioneta pick up, ya que el peso por cada uno es a 60kg el conjunto, y el juego con un peso de 720 kg, de mejor manera se podra realizar el transporte hacia los puntos mas cercanos & estrategicos que dependeran de sy mantenimiento que se va a realizar	J.J.P.I.
5/05/2024	E	<b>MANTENIMIENTO:</b> Para poder realizar el mantenimiento futuro sera en un menor tiempo ya que solamente se realizara el cambio de la plancha tiangular & colocacion de wearing compound para cuidar los pernos de sujeción	J.J.P.I.
5/05/2024	E	<b>COSTOS:</b> Según el analisis de costo el costo total del rediseño del deflector será de \$ 19000	J.J.P.I.
5/05/2024	E	<b>FECHA DE ENTREGA:</b> El diseño finalizado será presentado y entregado en el mes de Mayo del 2024.	J.J.P.I.

Luego se procedió a desarrollar el cronograma de actividades que comprenden desde la adquisición de los materiales, tiempo de fabricación de los deflectores, instalación, pruebas predictivas y trabajos finales.

**Tabla 4. Cronograma de actividades**

Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	% completado	Predecesoras
<b>Programada manualmente</b>	<b>Cambio de estructura protectora de sistema Raring</b>	<b>251.73 horas</b>	<b>dom 12/05/24</b>	<b>mié 22/05/24</b>	<b>0 %</b>	
Programada automáticamente	Inicio	0 días	dom 12/05/24	dom 12/05/24	100	
<b>Programada automáticamente</b>	<b>Tiempo logístico</b>	<b>96 horas</b>	<b>dom 12/05/24</b>	<b>jue 16/05/24</b>	<b>0</b>	
Programada automáticamente	Compra de materiales	72 horas	dom 12/05/24	mié 15/05/24	0	
Programada automáticamente	Fabricación (1 juego)	24 horas	mié 15/05/24	jue 16/05/24	0	4
<b>Programada automáticamente</b>	<b>Tiempo en fabricación de componente</b>	<b>30 horas</b>	<b>dom 12/05/24</b>	<b>lun 13/05/24</b>	<b>0</b>	
Programada automáticamente	Trazo	4 horas	dom 12/05/24	dom 12/05/24	0	
Programada automáticamente	Corte con CNC	3 horas	dom 12/05/24	dom 12/05/24	0	7
Programada automáticamente	Perforación	4 horas	dom 12/05/24	dom 12/05/24	0	8
Programada automáticamente	Pintado base	4 horas	dom 12/05/24	dom 12/05/24	0	9
Programada automáticamente	Secado	5 horas	dom 12/05/24	lun 13/05/24	0	10
Programada automáticamente	Pintado epóxico	4 horas	lun 13/05/24	lun 13/05/24	0	11
Programada automáticamente	Secado	5 horas	lun 13/05/24	lun 13/05/24	0	12
Programada automáticamente	Embalaje	1 hora	lun 13/05/24	lun 13/05/24	0	13
<b>Programada automáticamente</b>	<b>Modificación de los deflectores de las celdas FTR 10, 16, 23 y 28</b>	<b>35.73 horas</b>	<b>lun 13/05/24</b>	<b>mié 15/05/24</b>	<b>0</b>	

Programada automáticamente	Bloqueo de equipo	40 min	lun 13/05/24	lun 13/05/24	0	14
<b>Programada automáticamente</b>	<b>Actividades de andamios</b>	<b>4.33 horas</b>	<b>lun 13/05/24</b>	<b>lun 13/05/24</b>	<b>0</b>	
Programada automáticamente	Traslado de andamios	80 min	lun 13/05/24	lun 13/05/24	0	16
Programada automáticamente	Montaje de andamios de plataformas	3 horas	lun 13/05/24	lun 13/05/24	0	18
<b>Programada automáticamente</b>	<b>Actividades mecánicas</b>	<b>27.73 horas</b>	<b>lun 13/05/24</b>	<b>mar 14/05/24</b>	<b>0</b>	
Programada automáticamente	Retiro de pernería de Manhole	32 min	lun 13/05/24	lun 13/05/24	0	19
Programada automáticamente	Apertura de la tapa del Manhole	1 hora	lun 13/05/24	lun 13/05/24	0	21
Programada automáticamente	Traslado de triángulos hacia la celda de flotación	1.5 horas	lun 13/05/24	lun 13/05/24	0	22
Programada automáticamente	Trazo para el corte de los deflectores	4 horas	lun 13/05/24	mar 14/05/24	0	23
Programada automáticamente	Corte de los deflectores	8 horas	mar 14/05/24	mar 14/05/24	0	24
Programada automáticamente	Soldeo de platina con agujeros	9 horas	mar 14/05/24	mar 14/05/24	0	24
Programada automáticamente	Colocación de triángulos con la sujeción de pernería	9 horas	mar 14/05/24	mar 14/05/24	0	26
Programada automáticamente	Soldeo de las planchas	6 horas	mar 14/05/24	mar 14/05/24	0	25
Programada automáticamente	Pruebas de tintes penetrantes	120 min	mar 14/05/24	mar 14/05/24	0	28
Programada automáticamente	Retiro de material excedente	2 horas	mar 14/05/24	mar 14/05/24	0	29
Programada automáticamente	Orden y limpieza	1.5 horas	mar 14/05/24	mar 14/05/24	0	30

Programada automáticamente	Colocación de la tapa del Manhole	32 min	mar 14/05/24	mar 14/05/24	0	31
Programada automáticamente	Colocación y ajuste de pernería de perno de 5/8"	40 min	mar 14/05/24	mar 14/05/24	0	32
<b>Programada automáticamente</b>	<b>Actividades de andamios</b>	<b>2 horas</b>	<b>mar 14/05/24</b>	<b>mar 14/05/24</b>	<b>0</b>	
Programada automáticamente	Desmontaje de andamios	2 horas	mar 14/05/24	mar 14/05/24	0	33
<b>Programada automáticamente</b>	<b>Fin de servicio</b>	<b>1 hora</b>	<b>mar 14/05/24</b>	<b>mié 15/05/24</b>	<b>0</b>	
Programada automáticamente	Desbloqueo del equipo	1 hora	mar 14/05/24	mié 15/05/24	0	35

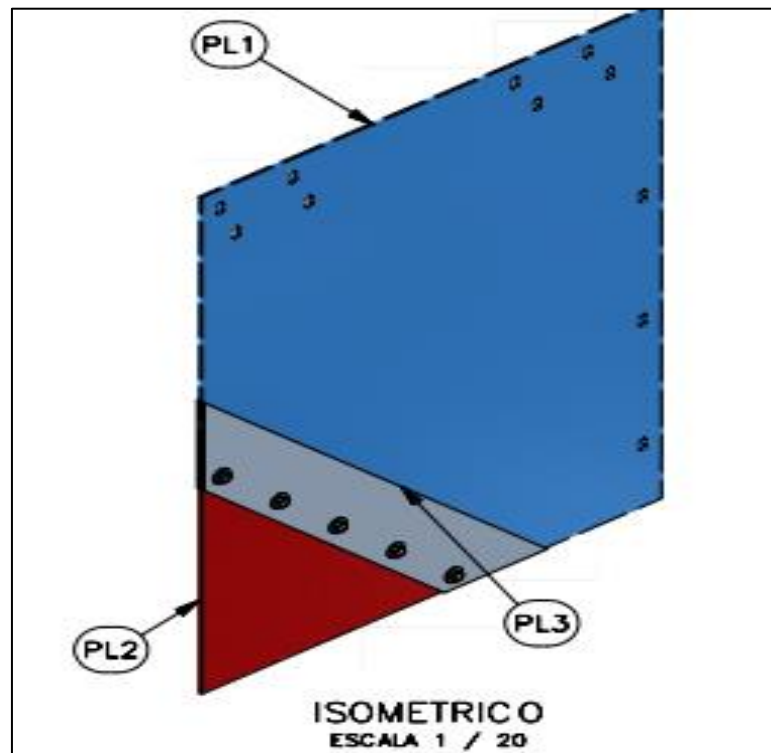


Figura 23. Deflector modificado

Después, se identificaron las características que deben tener las piezas que conforman el deflector modificado. Se elaboró la lista que se muestra en la tabla 5. considerando el material del deflector original, los injertos, las arandelas, pernos y tuercas, todos ellos con especificaciones que cumplan las condiciones operativas.

Tabla 5. Lista de piezas de deflector modificado

LISTA DE PIEZAS		
CTDAD	N° DE PIEZA	MATERIAL
1	PL1	ASTM A36
1	PL2	ASTM A36
2	PL3	ASTM A36
10	k1	Arandela plana inoxidable inoxidable
5	k2	Tuerca hexagonal Ø5/8" – 11 UNC inoxidable
5	k3	Perno hexagonal Ø5/8" – 11 UNC 2" inoxidable
5	k4	Arandela de presión inoxidable inoxidable

En la tabla 6. se especifican técnicamente los esfuerzos que resisten las planchas, perfiles, así como los electrodos utilizados. También las propiedades de las pinturas que se usarán para proteger los deflectores

**Tabla 6. Especificaciones técnicas de deflector modificado**

ESPECIFICACIONES TECNICAS	
<u>ACERO</u>	
- PLANCHAS Y PERFILES LAMINADOS, ASTM A36	Fy = 2,530 kg/cm <sup>2</sup>
<u>SOLDADURA Y CONECTORES</u>	
- ELECTRODOS CELULÓSICOS E60, SEGÚN AWS A5.1	Fu = 4,200 kg/cm <sup>2</sup>
<u>PINTURA ESTRUCTURAS :</u>	
- ARENADO: SSPC SP 6	
- PINTURA EPOXICA, COLOR GRIS RAL 7004 A 8 MILS.	

Con los valores hallados en la tabla 05, procedimos a desarrollar los planos de los deflectores modificados, es así que se realizó el siguiente procedimiento para obtener las medidas de los injertos:

- Se identificaron todas las medidas de los vértices horizontales de los deflectores de la tabla 5 y se halló como medida promedio de deformación 732.45 mm en el vértice.
- Se identificaron todas las medidas de los vértices verticales de los deflectores de la tabla 5 y se halló como medida promedio de deformación 744.05 mm en el vértice.

Con estas medidas se propuso que los vértices horizontal y vertical tendrían las dimensiones que se muestra en la figura 24.

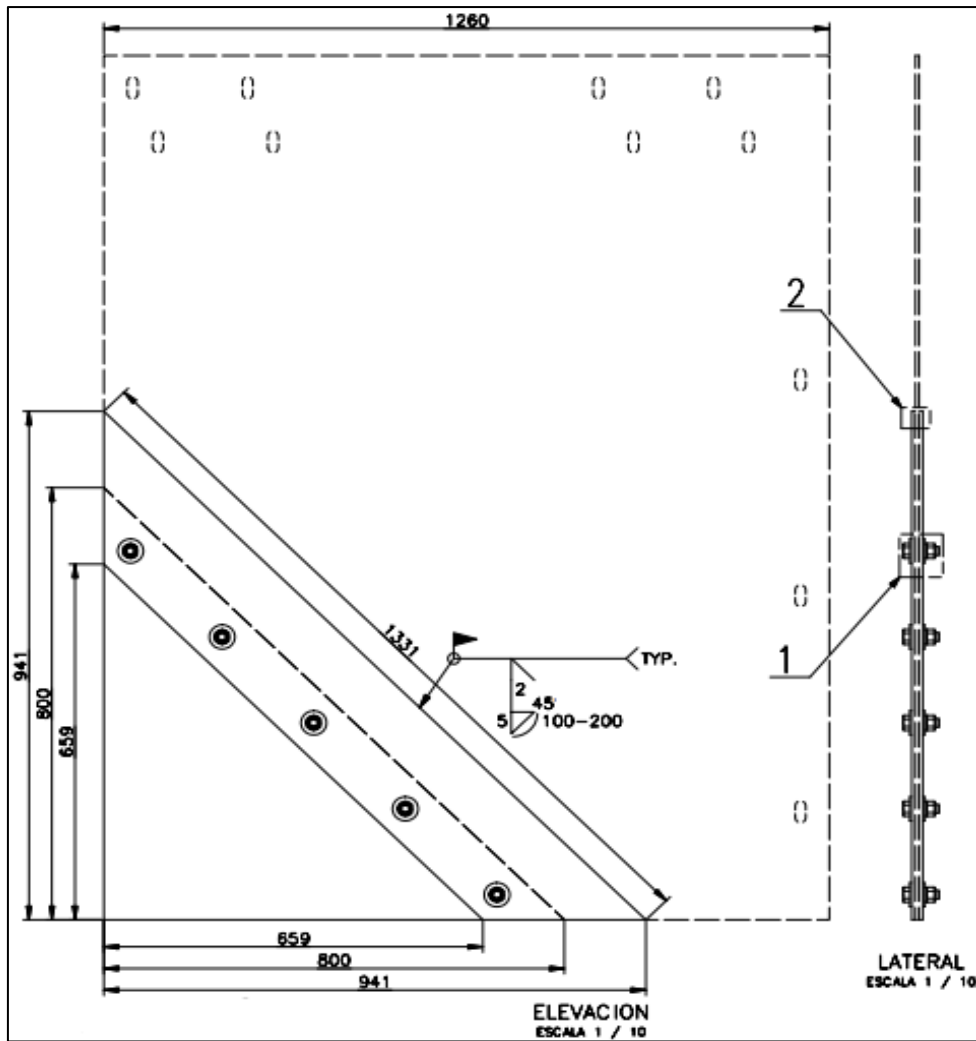


Figura 24. Dimensiones vista frontal de deflector modificado

En la figura 25 se pueden observar los componentes de sujeción y características de la soldadura.

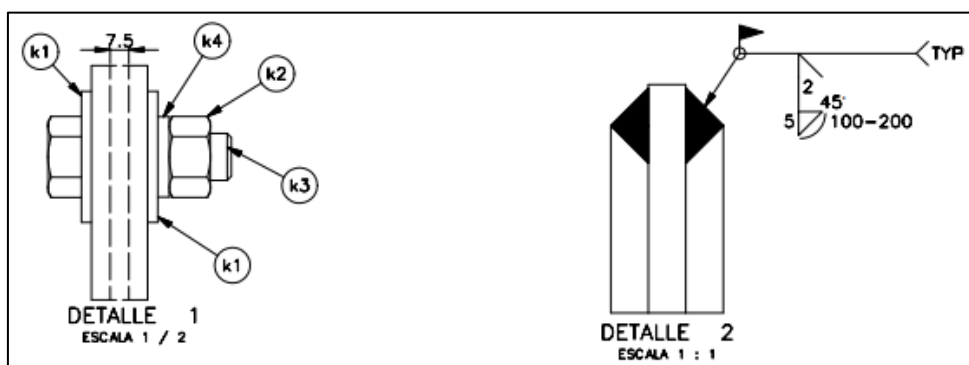


Figura 25. Vista de pernos de sujeción y soldadura

En la figura 26 se observan las dimensiones del injerto el cual nos servirá para el diseño y modelamiento. Vemos la distancia de los agujeros en los cuales se insertarán y ajustarán los pernos de sujeción con la pieza 3.



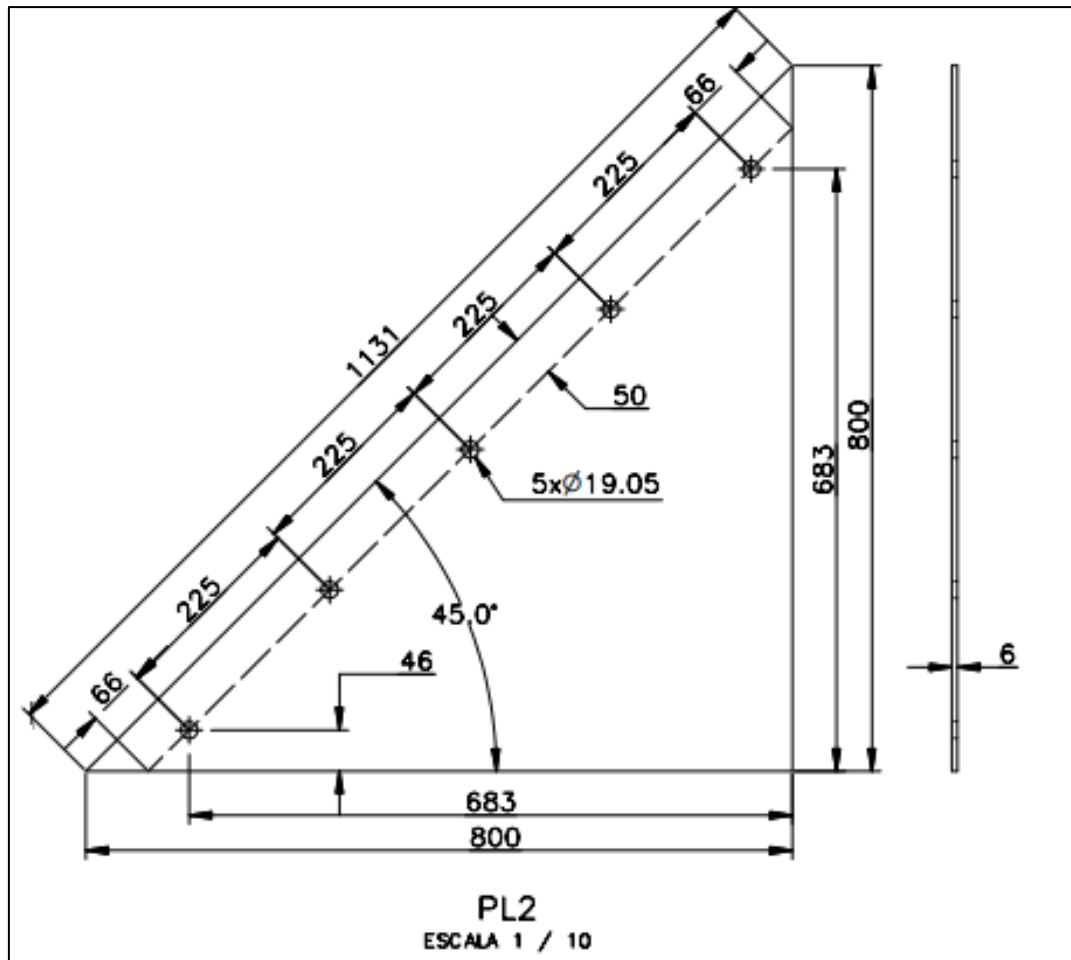
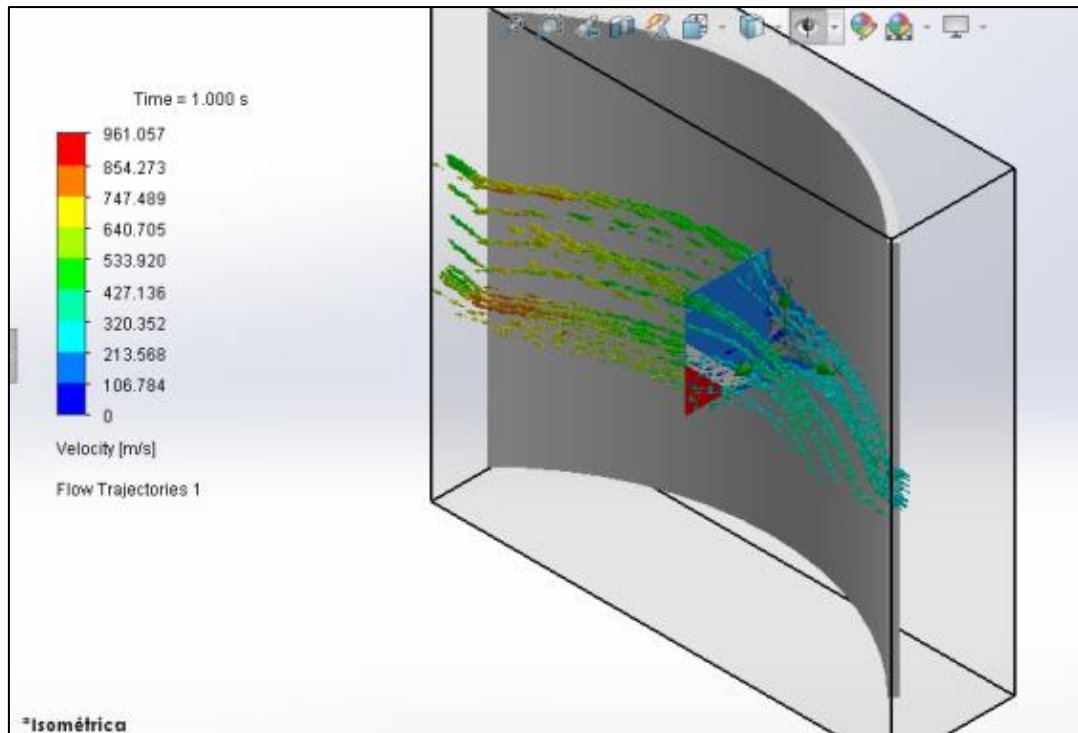


Figura 26. Dimensiones de la pieza 2 del deflector modificado

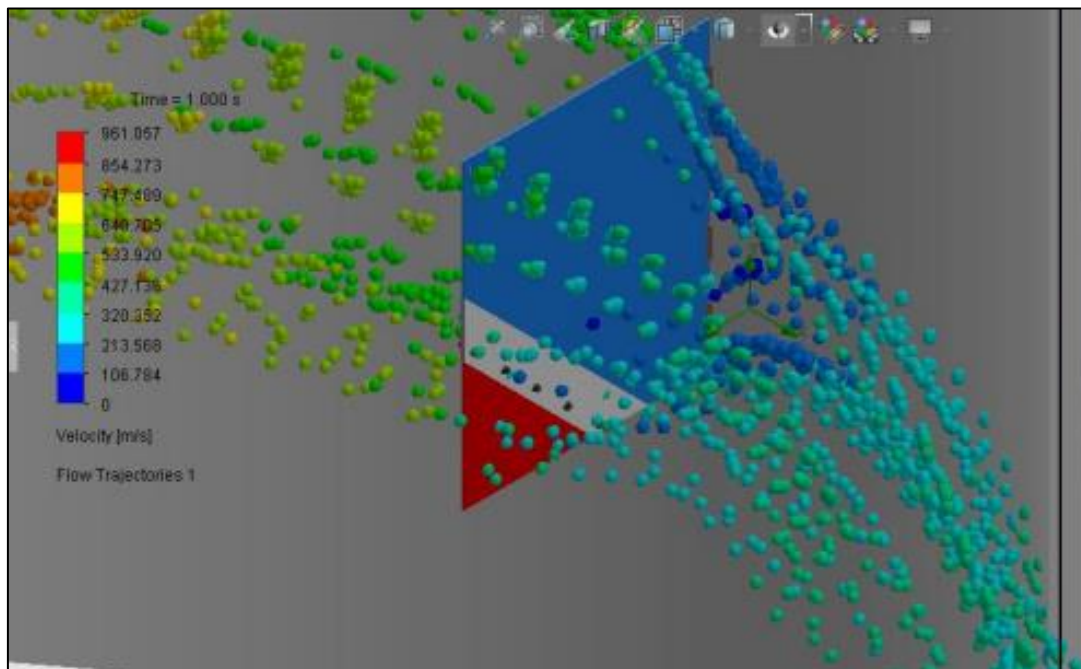
En la figura 27. Puede observarse el diseño de la pieza 3 cuya función es la ser soldada con la pieza 1 y servir de sujeción mediante pernos con la pieza 2.





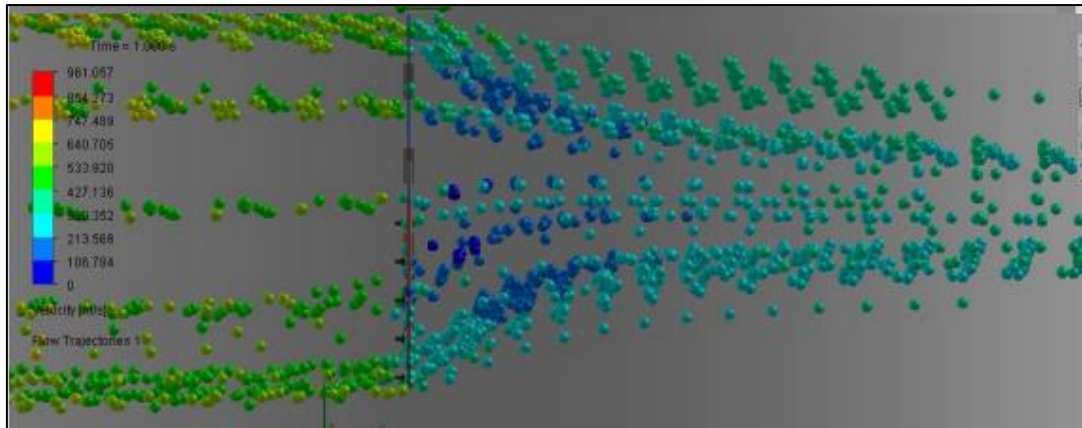
*Figura 28. Comportamiento de fluido en deflector modificado*

Vista del efecto que generaría la pulpa en el deflector y el comportamiento de esta en el injerto en el ángulo inferior izquierdo.



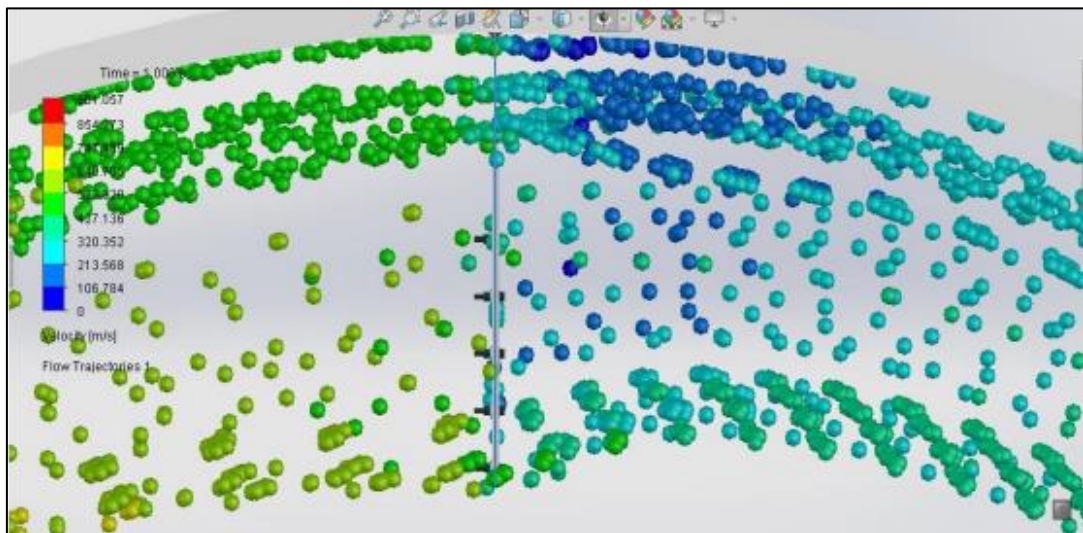
*Figura 29. Comportamiento de fluido en deflector modificado N°02*

En la figura 30, se observa la vista de perfil del comportamiento del fluido sobre el deflector modificado



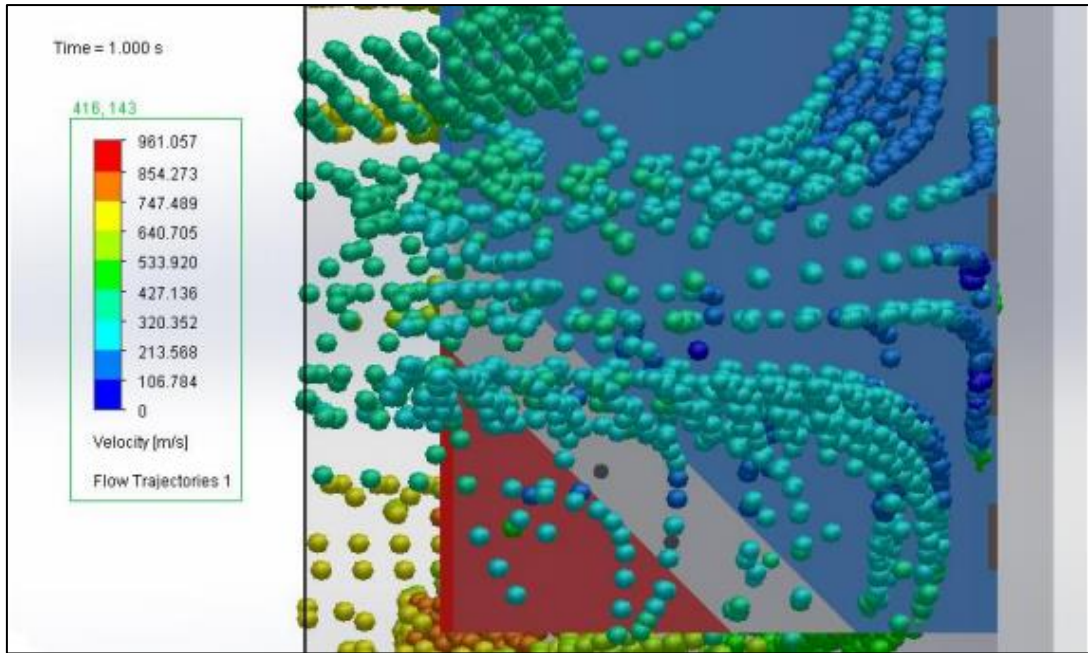
*Figura 30. Vista de perfil del comportamiento del fluido*

En la figura 31, se observa la vista superior del comportamiento del flujo sobre el deflector modificado



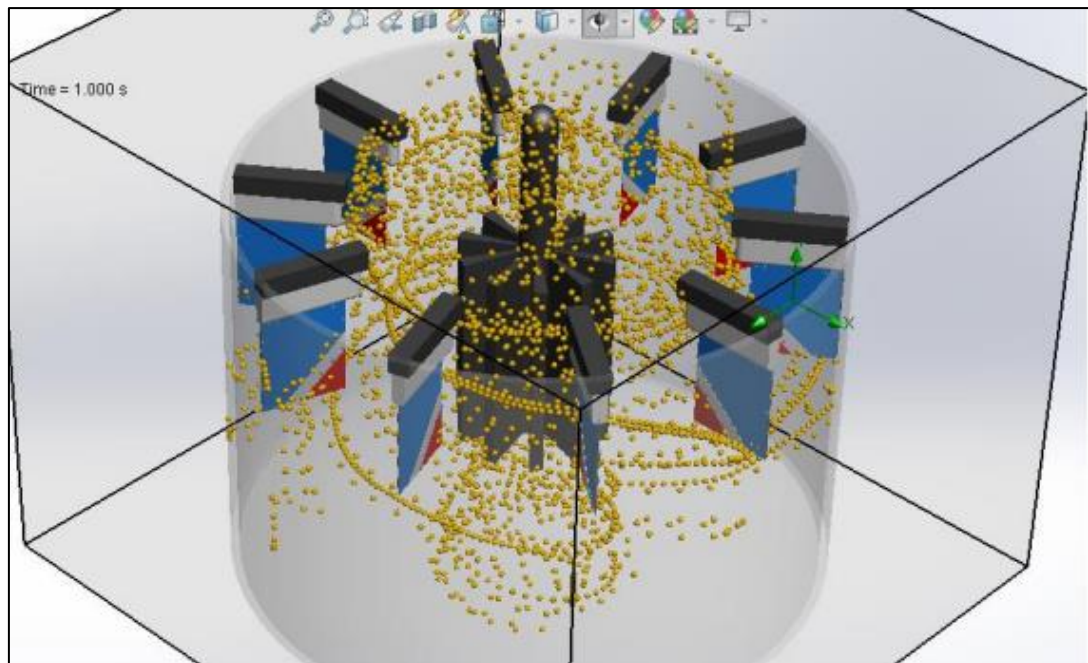
*Figura 31. Vista superior del comportamiento del fluido*



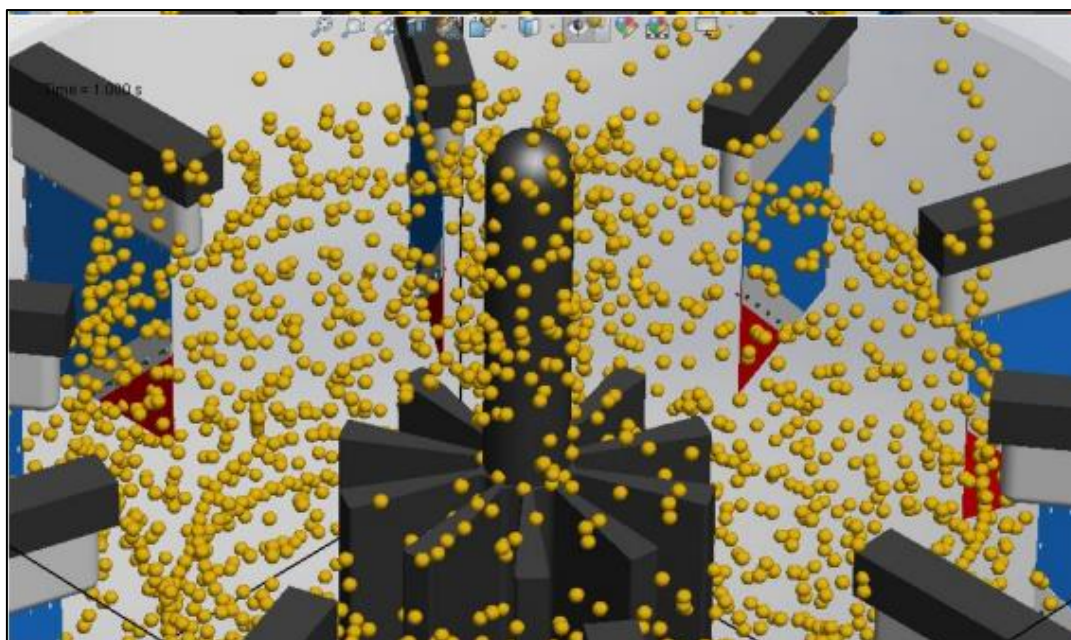


*Figura 32. Comportamiento de fluido en deflector modificado N°05*

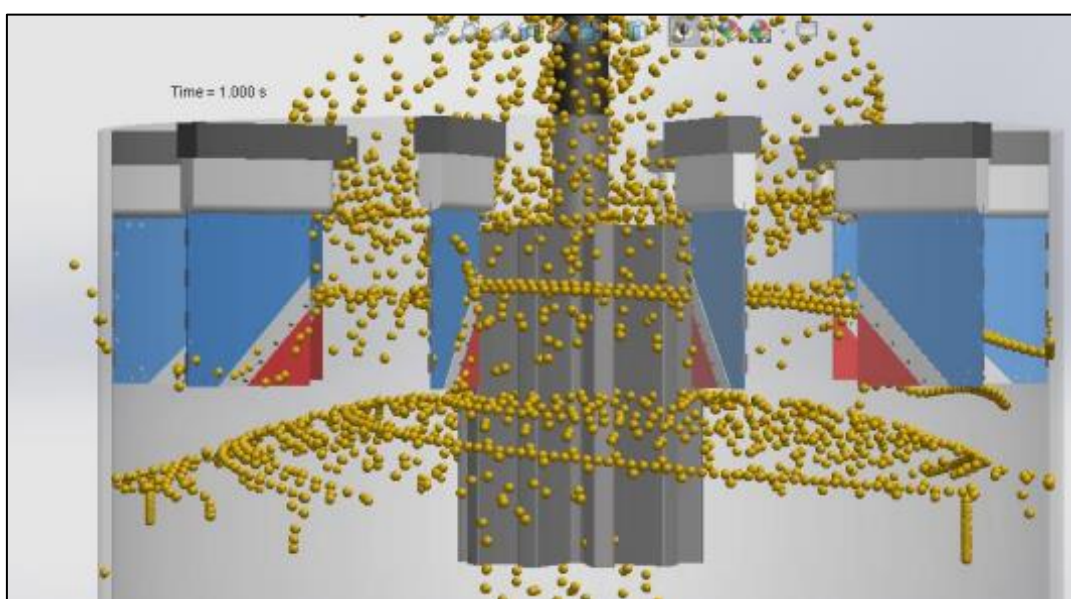
En las siguientes figuras se observa lo que sería el comportamiento del flujo en el total de los deflectores modificados instalados dentro de la celda de flotación. Puede observarse que la mayor incidencia del flujo se da en los extremos de los deflectores



*Figura 33. Comportamiento de fluido celda de flotación*

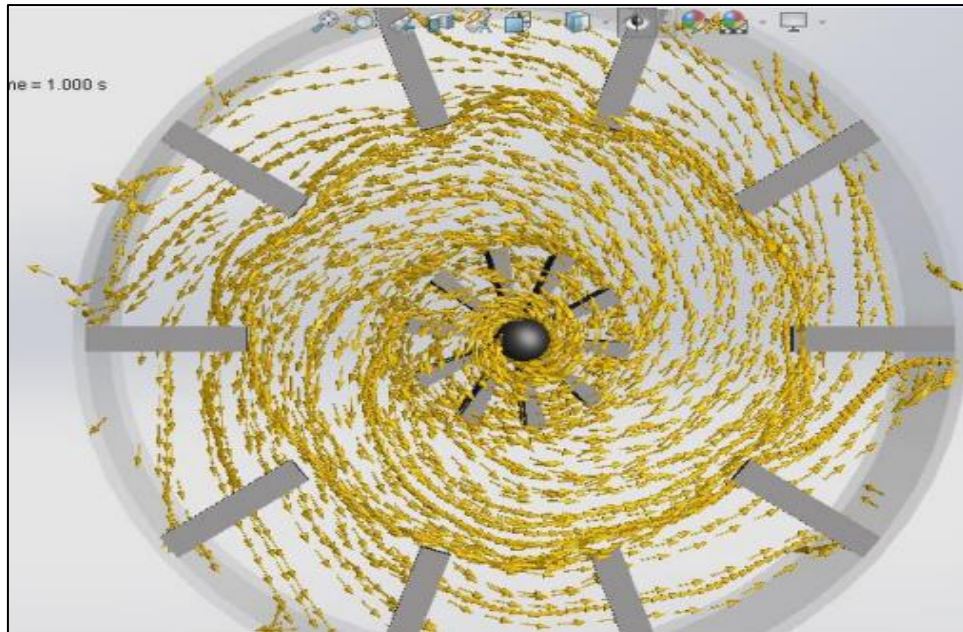


*Figura 34. Comportamiento de fluido celda de flotación N°02*



*Figura 35. Comportamiento de fluido celda de flotación N°03*

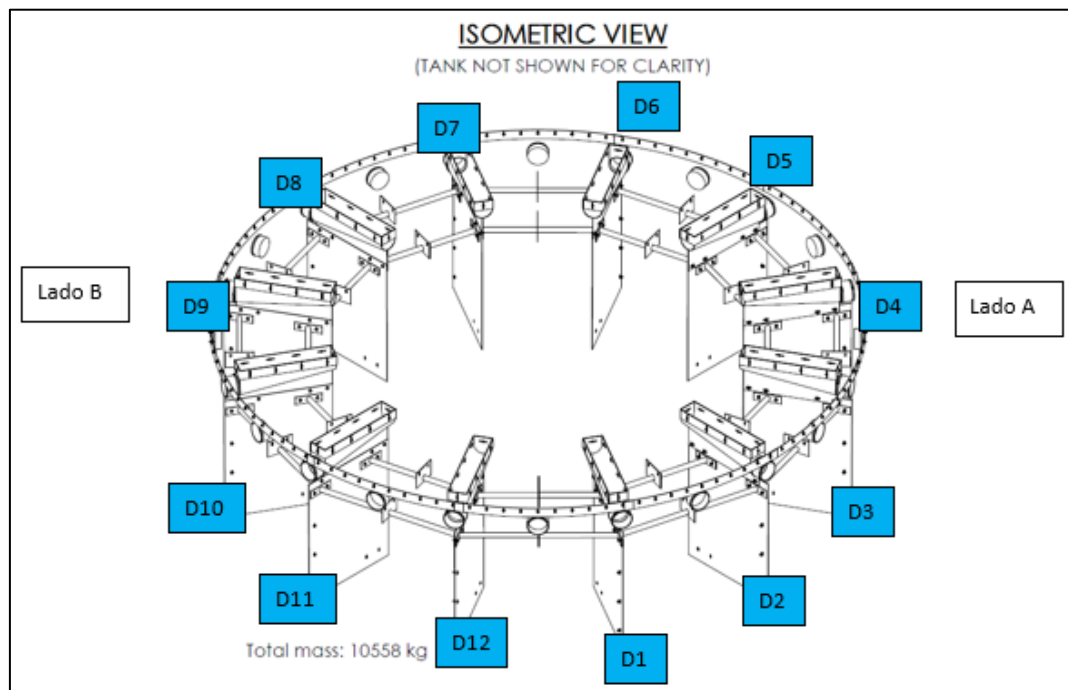




*Figura 36. Comportamiento de fluido celda de flotación N°04*

#### 4.1.4. Fabricación de los deflectores modificados

En la figura 37, se observa la distribución utilizada para la identificación de los deflectores modificados y su posterior reemplazo y análisis de los efectos del comportamiento del flujo de la pulpa.



*Figura 37. Disposición de deflectores en celda de flotación*

**a. Reporte de estado de deflectores en celdas FTR**

Debido al estado de los deflectores, tal como se mostró en las imágenes superiores, se procedió al reemplazo el 15/6/2024 como se muestra en la tabla inferior

**Tabla 7. Mantenimiento de celdas FTR**

FTR	MANTENIMIENTO DE DEFLECTORES EN CELDAS FTR												DESCRIPCIÓN
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	
FTR-010	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	SE CAMBIO
FTR-016	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	SE CAMBIO
FTR-023	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	SE CAMBIO
FTR-028	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	SE CAMBIO
LEYENDA													
A	TOLERABLE												
B	OBSERVADO												
C	REQUIERE CAMBIO												
D	SE CAMBIO												

**b. Control para el compuesto de desgaste (*wearing compound*)**

• **Instrucción de Uso.**

La preparación adecuada de las superficies es crítica para el desempeño del recubrimiento a largo plazo. Los requerimientos exactos varían con la severidad de la aplicación, tiempo de vida de servicio esperado, y las condiciones iniciales de los sustratos.

1. En todas las superficies verticales arriba de la cabeza se recomienda el soldado de una malla de metal en los sustratos metálicos antes de la aplicación del *Wearing Compound*.
2. Limpie y lije la superficie de aplicación. Entre mejor sea la preparación de la superficie mejor será el desempeño del recubrimiento. Si es posible se recomienda que la superficie sea lijada con chorro de arena hasta obtener un acabado de acuerdo al Estándar White Metal (SSPC-SP10/NACE N.º 2). Para aplicaciones menos severas un lijado de la superficie con herramientas manuales es suficiente.
3. Se recomienda la limpieza con un solvente que no deje residuos como una etapa final para ayudar a la adhesión.



- **Mezclado**

Mida 2 partes de resina con 1 parte de endurecedor por volumen o transfiera el kit completo en una superficie limpia y seca y mezcle hasta obtener un color uniforme. (Si la resina y endurecedor se encuentran a una temperatura de 15 °C (60 °F) o abajo, precaliente la resina únicamente hasta 32 °C (90 °F) y que no exceda de 38 °C (100 °F).

- **Método de aplicación**

Aplicar todo el material mezclado a la superficie preparada.

1. Aplique una capa inicial muy delgada para mojar la superficie y evite el atrapar aire.
2. Aplique una capa de un espesor mínimo de 1/4”
3. A 25 °C (77 °F) el tiempo de trabajo es de 30 minutos. El tiempo de trabajo y de curado depende de la temperatura, de la cantidad de material; entre mayor sea la temperatura y la cantidad de material mayor es la velocidad de curado.
4. El tiempo de curado funcional es de 3 horas a 25 °C (77 °C).

**c. Propiedades de material de aporte**

- **Cellocord E6011**

Electrodo revestido de tipo celulósico AWS A5.1 / ASME-SFA 5.1 E6011, con penetración profunda, diseñado para uso con corriente alterna o continua. Su arco potente y muy estable produce depósitos de muy buena calidad. Es aconsejable para la ejecución de pases de raíz y multifase en aceros de bajo contenido de carbono. Para la soldadura de unión en cualquier posición, en especial para vertical ascendente y sobre cabeza.

**Tabla 8. Propiedades mecánicas del metal depositado**

<b>Propiedades Mecánicas del Metal Depositado</b>				
<b>Tratamiento Térmico</b>	<b>Resistencia a la Tracción [MPa (psi)]</b>	<b>Límite de Fluencia [MPa (psi)]</b>	<b>Elongación en 2" [%]</b>	<b>Energía Absorbida ISO-V (-20°C) [J]</b>
<b>Sin</b>	450 - 550	mín. 360	22	mín.
<b>tratamiento</b>	(62 250 - 79 750)	(52 200)	30	60

- **Supercito E7018**

E7018 es uno de los electrodos de bajo hidrógeno de soldadura con electrodo revestido / SMAW más utilizados para la soldadura de acero dulce y acero al carbono. Los recubrimientos

de los electrodos están hechos con revestimientos inorgánicos que contienen un mínimo de humedad, por lo que proporcionan un depósito de soldadura con el menor hidrógeno en la soldadura, dando así el nombre a estos electrodos como electrodos de bajo contenido de hidrógeno. Los revestimientos de electrodos con bajo contenido de hidrógeno se pueden diseñar para resistir la absorción de humedad durante un tiempo considerable en un ambiente húmedo, por lo que, incluso si se mantienen en un lugar húmedo, necesitarán un tiempo considerable para absorber la humedad.

Los electrodos E7018 también contienen un porcentaje relativamente alto de polvo de hierro agregado al recubrimiento, lo que brinda una mayor productividad, ya que obtendrá más depósitos de soldadura en comparación con el electrodo E7015 del mismo diámetro.

**Tabla 9. Composición química del metal depositado**

<b>COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL METAL DEPOSITADO</b>	
<b>C</b>	0,06%
<b>Mn</b>	1,05%
<b>Si</b>	0,49%
<b>P</b>	0,015%
<b>S</b>	0,010%

En la tabla 10 se identifica y escoge el amperaje requerido para el proceso de soldadura de los deflectores y la pieza 3

**Tabla 10. Amperaje recomendado para soldadura**

<b>AMPERAJES RECOMENDADOS</b>								
<b>Ref. AWS</b>	<b>Diam. pulg</b>	<b>Electrodo mm</b>	<b>Long. pulg</b>	<b>Electrodo mm</b>	<b>Amperaje</b>		<b>Electrodo x kg aproximado</b>	<b>Kg/Caja</b>
					<b>min</b>	<b>Max</b>		
<b>E 7018</b>	3/32	2,4	12	300	70	120	65	25
<b>E 7018</b>	1/8	3,2	14	350	80	120	32	25
<b>E 7018</b>	5/32	4	14	350	140	200	19	25
<b>E 7018</b>	3/16	4,8	14	350	200	275	14	25
<b>E 7018</b>	1/4	6,4	18	450	275	400	7	25
<b>E 7018</b>	1/8	3,2	14	350	80	120	32	20
<b>E 7018</b>	5/32	4	14	350	140	200	19	20
<b>E 7018</b>	1/8	3,2	14	350	80	120		25
<b>E 7018</b>	3/32	2,4	12	300	70	120		25
<b>E 7018</b>	5/32	4	14	350	140	200		25

#### **d. Posición de soldeo**

La posición de soldeo de acuerdo a la ubicación del inserto fue horizontal inclinado, según se muestra en la figura, también considerando que las juntas son uniones de solapa, el

ancho del cateto de la junta fue de 6mm y la intermitencia de la soldadura fue de 130mmx100mm.

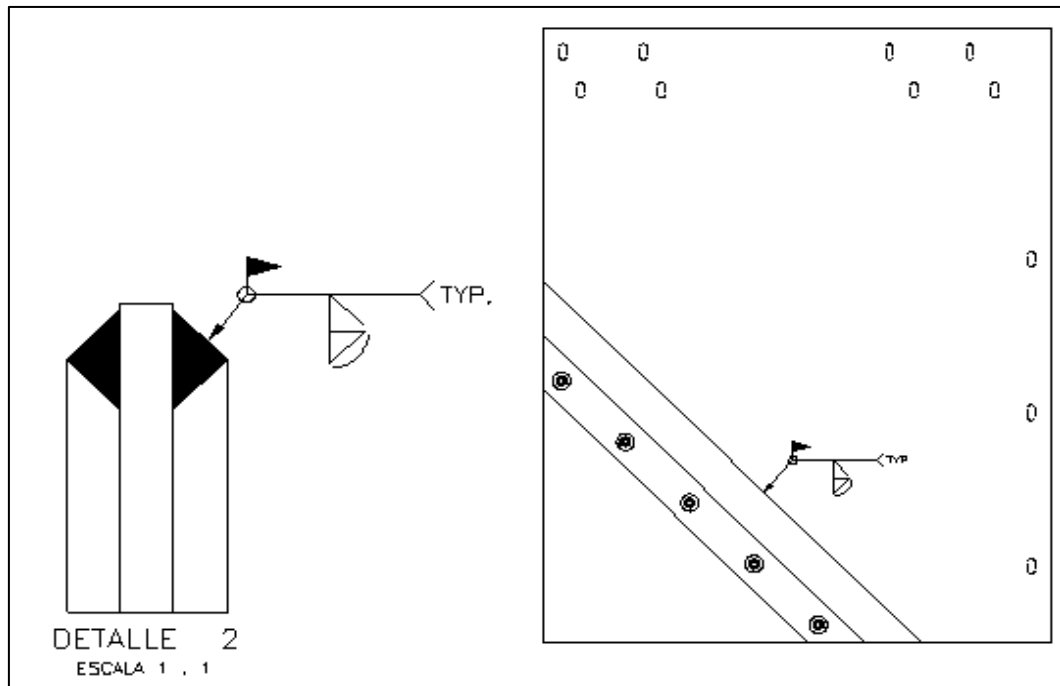


Figura 38. Disposición de soldadura en celda modificada

- **Ratios de soldeo y consumibles utilizados**

Durante el desarrollo del servicio, se consiguieron las siguientes ratios de desarrollo, también observamos los consumibles utilizados.

Tabla 11. Cantidad de consumibles

CONSUMIBLES	CANTIDAD (X DEFLECTOR)	CANTIDAD KG (X 48 DEFLECTORES)
Electrodo E-6011 1/8'	0.5 KG	25 kg
Electrodo E-7018 1/8''	0.5 KG	25 kg
Discos de corte de 7''	1 Und.	50 Und
Wearing	3 baldes/celda	12 baldes

En las siguientes figuras, pueden observarse el proceso de soldadura y reemplazo de los injertos de los deflectores



*Figura 39. Instalación de celda modificada*



*Figura 40. Soldadura de celda modificada*



*Figura 41. Empernado de injerto de celda*

La tabla 12 que se muestra a continuación, contiene el listado y cantidad de las herramientas utilizados en la modificación de los deflectores.

**Tabla 12. Herramientas y equipos de poder**

MODIFICACIÓN DE DEFLECTORES			
N°	HERRAMIENTA & EQUIPO DE PODER	CANT	UNIDAD
1	MAQUINA DE SOLDAR	2	Und.
2	AMOLADORA DE 7"	2	Und.
3	AMOLADORA DE 4.5"	2	Und.
4	GILLETES DE 3/4"	2	Und.
5	PATA DE CABRA	2	Und.
6	COMBO DE 4 LB	2	Und.
7	CINCEL PLANO	2	Und.
8	LLAVES DE COLA	2	Und.
9	DESTORNILLADOR DE GOLPE DE 12"	2	Und.
10	ESCALERA DE 8 PELDAÑOS	1	Und.
11	PISTOLA INALÁMBRICA ENCASTRE DE 3/4"	1	Und.
12	DADOS DE IMPACTO TUBULAR 15/16", 7/8", 3/4" ENC DE 3/4"	3	Und.
13	LLAVES MIXTAS 15/16, 7/8, 3/4	3	Und.
14	LUMINARIAS LED	4	Und.
15	CARGADOR DE BATERIA PARA PISTOLA INALAMBRICA	2	Und.
16	ARNES DE SEGURIDAD	4	Und.
17	TAMBOR RETRACTIL	4	Und.
18	EXTENSION 220V	4	Und.
19	ESCOBILLAS DE ACERO	2	Und.
20	EXTENSIÓN 480V	4	Und.
21	PULPO 480V	2	Und.
22	PULPO 220V	2	Und.
23	ROPA DE CUERO	6	Und.
24	TOMA CHINA 220V	2	Und.
25	TOMA APLETON 480V	1	Und.
26	DRIZAS 1m	5	Und.
27	SOGA 10m	2	Und.
28	LLAVE MIXTA DE 15/16"	2	Und.
29	FRANCESA DE 12"	2	Und.
30	PINZA DE BLOQUEO	2	Und.


31	FLEXÓMETRO	2	Und.
32	NIVEL DE 24"	2	Und.
33	REGLA METÁLICA DE 2m	1	Und.
34	CARETA DE SOLDAR	2	Und.
35	CARETA FACIAL	6	Und.
36	GUANTES DE NITRILO	12	Und.
37	WD-40	2	Und.
38	DISCO DE CORTE 7"	24	Und.
39	DISCO DE DESBASTE DE 4.5"	10	Und.
40	SOLDADURA 7018	12	Kg
41	CEPILLO CIRCULAR DE ALAMBRE TRENZADO 1.5"	2	Und.
42	EXTINTOR 9 KG PQS	2	Und.
43	PERCHERO PARA MOCHILAS	1	Und.
44	ARNÉS	5	Und.
45	LÍNEA DE VIDA ACERADA	5	Und.
46	TAMBOR RETRÁCTIL	2	Und.
47	LÍNEA DE RESTRICCIÓN	2	Und.
48	ESPÁTULAS	2	Und.
49	THINER 5 LITROS	2	Und.
50	CÚTER		Und.
51	CONOS	12	Und.
52	BARRAS	12	Und.
53	CAJA METÁLICA	1	Und.
54	MANTA IGNIFUGA	2	Und.

Debido al desgaste por impacto a los que están sometidos los deflectores dentro de las celdas de flotación, se estableció un plan de inspecciones y reemplazo de los injertos definidos dentro de las fechas especificadas.

- **Control de calidad de soldadura**

Finalmente, se procede a realizar el control de calidad de soldadura de los injertos de los deflectores de acuerdo a:

- a. Las especificaciones del procedimiento de soldadura (WPS) proporcionado por SINAR, empresa proveedora de servicios encargada de este trabajo. El documento completo se encuentra en anexo 05.

 <b>ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)</b>		Página 1 de 2	
Según AWS D1.1/D1.1M Edición 2020 Structural Welding Code - Steel			
Nombre de la Compañía	SINAR S.A.C.	Identificación	WPS-SINAR-7-23
Proyecto	Fabricación de estructuras según AWS D1.1	Revisión	0 Fecha 01/06/2023 Por
Proceso (s) de Soldadura	FCAW-G (Gas Shielded Flux Cored Arc Welding)	Autorizado por	Ing. Martín Velarde Fecha 01/06/2023
PQR de Soporte	N.A. (Precalificado)	Método de aplicación	Manual <input type="checkbox"/> Semi-Automático <input checked="" type="checkbox"/>
			Máquina <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/>
DISEÑO (S) DE JUNTA		POSICIÓN	
Tipo:	TC-F12-GF (Junta en "T" - "Esquina" - Soldadura de Filete)	Posición de Ranura	-- Filete Todas
Simple	<input checked="" type="checkbox"/> Soldadura Doble <input type="checkbox"/>	Progresión Vertical	Ascendente <input checked="" type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>
Respaldo:	Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS	
Material de respaldo:	--	Modo de Transferencia (GMAW)	Corto Circuito <input type="checkbox"/> Globular <input type="checkbox"/> Rocío "Spray" <input type="checkbox"/>
Abertura de Raíz	0 mm +2, -0 Dimensión de Cara de Raíz --	Corriente	AC <input type="checkbox"/> DC EP <input checked="" type="checkbox"/> DC EN <input type="checkbox"/> Pulsada <input type="checkbox"/>
Angulo de Ranura	-- Radio (J - U) --	Fuente de Alimentación	CC <input type="checkbox"/> CV <input checked="" type="checkbox"/>
Remoción de Raíz:	Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>	Otro	Fuente de poder de corriente continua y de voltaje constante
Método	--	Electrodo de Tungsteno (GTAW)	Tamaño --
METALES BASE			
Espec. de Material	Cualquier Acero del Grupo I con cualquier acero del Grupo I Cualquier Acero del Grupo II con cualquier acero del Grupo II		

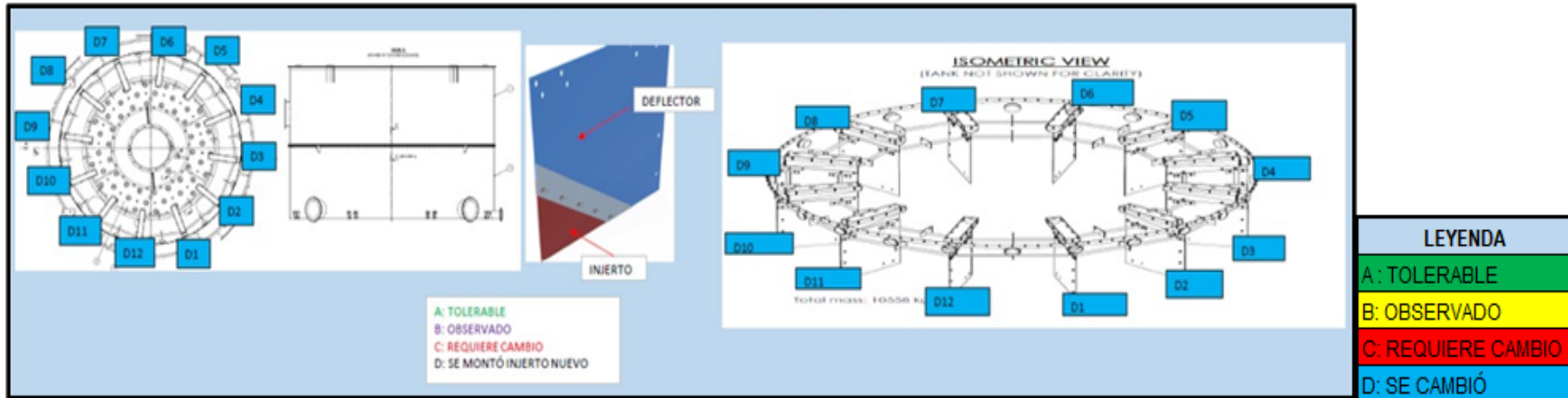
**Figura 42. Especificaciones de procedimiento de soldadura**  
Fuente: Sinar

- b. Se realiza la prueba de fisuras utilizando la técnica predictiva de líquidos penetrantes, tal como se puede observar en la siguiente figura.



**Figura 43. Prueba de líquidos penetrantes**





**PLAN DE INSPECCIONES Y REEMPLAZO DE INJERTOS DE DEFLECTORES - 2024**

FTR	Deflectores												Programación fecha de Inspección					Reemplazo
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	15/07/2024	15/08/2024	15/09/2024	15/10/2024	15/11/2024	15/12/2024
FTR - 010	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	X					
FTR - 016	A	A	B	A	A	A	B	A	A	A	A	A	X					
FTR - 023	A	B	A	A	A	A	A	A	A	B	A	A	X					
FTR - 028	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	X					

*Figura 44. Plan de inspecciones y reemplazo de injertos*

Finalmente, con el apoyo del área de planificación de la minera se estableció un cuadro comparativo de costos, tiempo y recursos, ver Tabla 13: con los deflectores originales y los deflectores modificados

Tabla 13. Cuadro comparativo de deflectores: costos, recursos y tiempo

CUADRO COMPARATIVO											
CAMBIO DE DEFLECTOR						MODIFICACION DE DEFLECTOR					
DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTO/H	TURNO/12 H	SUB.TOTAL	TOTAL	CANTIDAD	COSTO/H	TURNO/12 H	MODIFICACION DE DEFLECTOR	TOTAL	
SUPERVISOR MECANICO	1	\$ 15.32	60	\$ 919.20		1	\$ 15.32	36	\$ 551.52		
SSOMA	1	\$ 14.10	60	\$ 846.00		1	\$ 14.10	36	\$ 507.60		
MECANICO	6	\$ 7.50	60	\$ 2,700.00		4	\$ 7.50	36	\$ 1,080.00		
SOLDADOR	3	\$ 7.90	60	\$ 1,422.00		4	\$ 7.90	36	\$ 1,137.60		
OPERADOR GRUA	1	\$ 8.40	60	\$ 504.00		0	\$ 8.40				
RIGER	1	\$ 7.70	60	\$ 462.00		0	\$ 7.70				
SUPERVISOR ANDAMIERO	1	\$ 15.32	60	\$ 919.20		1	\$ 15.32	36	\$ 551.52		
ANDAMIERO	4	\$ 7.90	60	\$ 1,836.00		4	\$ 7.90	36	\$ 284.40		
COSTO MANO CALIFICADO				\$ 9,668.40		COSTO MANO CALIFICADO					\$ 4,112.64
HERRAMIENTAS & EQUIPOS DE PODER (12%)				\$ 1,160.21		HERRAMIENTAS & EQUIPOS DE PODER (12%)					493.5168
COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA					\$ 10,828.61	COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA					\$ 4,606.16

DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTO	TURNO/12 H	SUB.TOTAL	TOTAL	CANTIDAD	COSTO	TURNO/12 H	SUB.TOTAL	TOTAL	
TORRE GRUA	1	160	24	3840	\$ 3,840.00	0					
COSTO DEFLECTOR C/U en \$	48	1250		60000	\$60,000.00	48	275		13200	\$ 13,200.00	
TRANSPORTE PERSONAL 16 PSJ	1	24	60	1450	\$ 1,450.00	1	23	36	840	\$ 840.00	
TRANSPORTE DE HERRAMIENTAS	1	15	60	900	\$ 900.00	1	15	36	540	\$ 540.00	
TRANSPORTE	Camion Grua (4 HORAS)	105			\$ 420.00	0					
COSTO TOTAL PARA CAMBIO DE DEFLECTOR					\$ 77,438.61	COSTO TOTAL DEL REDISEÑO DEL DEFLECTOR					\$ 19,186.16

Puede observarse que el costo incurrido con el reemplazo del deflector original considerando todos los recursos a utilizar son de \$ 77 438.61 dólares y el tiempo que demandan los trabajos son de 60 horas. En contraste, el costo incurrido en el reemplazo de los injertos de deflectores es de \$ 19 186.16 dólares y el tiempo que demanda este trabajo es de 36 horas.

Por lo tanto, se puede apreciar que, haciendo el cálculo y comparación de ambos procedimientos, se tiene que la propuesta que se plantea genera un ahorro en costos de \$ 58252.45 dólares lo que significa 75.22 % menos, y con respecto al tiempo se observa que se requiere 24 horas menos de tiempo que el utilizado inicialmente.

#### **4.2. Discusión de resultados**

1. En este estudio, se identificó el efecto que genera el desgaste por impacto en los deflectores de las celdas de flotación. La simulación realizada con los parámetros operativos identificados muestra que existen  $21.78 \times 10^6$  partículas / s que impactan contra los deflectores y que éstas generan desgaste abrasivo y erosivo haciendo que la vida útil de los deflectores se reduzca. Para observar el comportamiento de la pulpa (fluido) se simuló utilizando el software SolidWorks lo que nos ayudó a comprender mejor este efecto. Este resultado tiene similitudes con lo planteado por Nakhai et al. (2) buscó con su trabajo optimizar procesos de flotación para mejorar la eficiencia operativa y reducción del consumo energético con modelado y simulación numérica de procesos de flotación optimizando el consumo de energía y aumento de la eficiencia de recuperación.
2. Asimismo, con este estudio se desarrolló, con datos históricos, el diseño de los injertos de los deflectores que se basó en el análisis físico de los deflectores obtenidos de las celdas de flotación, se tomaron medidas de los vértices inferiores horizontal y vertical para con ello proponer las medidas de los injertos que se usarán en el futuro para que los tiempos de mantenimiento y el uso de recursos de las celdas de flotación se reduzcan. Este resultado encuentra coincidencia con la tesis desarrollada por Contreras et al. (4) realizada en el 2022 que implementó el rediseño de la celda de flotación que presentaba filtraciones y problemas en los sistemas de aireación. El resultado obtenido mejoró significativamente la eficiencia y estabilidad de la celda de flotación.
3. Finalmente, con este estudio se determinó que los trabajos de soldadura son importantes en el rediseño de los deflectores, para ello se utilizaron los electrodos E7018 que son uno de los electrodos de bajo hidrógeno de soldadura con electrodo revestido / SMAW más utilizados para la soldadura de acero dulce y acero al carbono cuyo esfuerzo último

de resistencia es de 4200 kg/cm<sup>2</sup>. Este resultado coincide con el trabajo de investigación desarrollado por Puma (6) quien identificó la descripción del procedimiento de fabricación utilizando procesos de soldadura.

## CONCLUSIONES

1. El nuevo diseño modular de los deflectores, junto con un plan de mantenimiento basado en inspecciones periódicas y la facilidad para reemplazar los injertos desgastados, resultó en una mejora significativa en la eficiencia del mantenimiento. Se proyecta que la implementación del rediseño reducirá los costos de mantenimiento en un 20 % anualmente, debido a la menor necesidad de reemplazo total de los deflectores y la reducción del tiempo de inactividad de las celdas de flotación. Además, se estima que la optimización del mantenimiento incrementará la disponibilidad operativa de las celdas en un 15 %, lo que contribuirá directamente a una mayor productividad y eficiencia en el proceso de flotación.
2. A través de la recopilación de datos de operación y mantenimiento en la unidad minera Las Bambas, se determinó que los deflectores de las celdas de flotación modelo Wemco de 257 m<sup>3</sup> sufren un desgaste severo debido al impacto continuo de partículas minerales suspendidas en la pulpa. Se identificó que cada celda procesa un flujo de 21.78 m<sup>3</sup>/s de pulpa con una concentración de partículas de 10<sup>6</sup> partículas/m<sup>3</sup>, lo que resulta en 78.41 x 10<sup>9</sup> partículas/hora impactando los deflectores. Este desgaste es particularmente pronunciado en los vértices inferiores de los deflectores, generando una reducción significativa en su vida útil y afectando la eficiencia del proceso de flotación. La recopilación de estos datos permitió establecer una línea base clara para realizar las modificaciones de diseño necesarias.
3. Los estudios de simulación y análisis de desgaste revelaron que el diseño actual de los deflectores, fabricados con acero ASTM A36, no es adecuado para soportar los impactos repetitivos de las partículas durante periodos prolongados de operación. Las simulaciones realizadas en SolidWorks mostraron que el volumen de desgaste por impacto estimado en cada deflector es de 0.0849 x 10<sup>-18</sup> m<sup>3</sup> por partícula, lo que se traduce en un desgaste acumulado significativo en el transcurso de varias semanas de operación continua. Como resultado, el rediseño debía considerar la incorporación de materiales con mayor resistencia a la abrasión y un diseño modular que permitiera un mantenimiento más eficiente, reduciendo la necesidad de reemplazar todo el deflector y optimizando el tiempo de parada.
4. Se propuso un rediseño basado en una configuración modular de tres cuerpos para los deflectores, que incluye dos injertos desmontables: uno soldado a la base original y el otro atornillado para facilitar su reemplazo. Este diseño permitió reducir los tiempos de mantenimiento en un 35 %, ya que solo sería necesario reemplazar el injerto dañado en lugar de todo el deflector. Además, se seleccionaron materiales con mayor resistencia al desgaste,

como compuestos cerámicos y aceros de alta resistencia, lo que incrementó la vida útil de los deflectores en un 25 % en comparación con el diseño original. Las simulaciones también indicaron una mejora en la distribución del flujo de pulpa dentro de la celda, lo que resultó en una reducción del desgaste en los puntos críticos previamente identificados.

## RECOMENDACIONES

1. La introducción del diseño modular permite ajustar el plan de mantenimiento preventivo para que sea más específico y eficiente. Se recomienda revisar y optimizar las frecuencias de mantenimiento basándose en los datos de desgaste obtenidos mediante el monitoreo continuo. La experiencia operativa inicial sugiere que la frecuencia de reemplazo completo de los deflectores podría reducirse en un 25 %, debido a la mayor resistencia de los materiales y la modularidad del diseño. Un ajuste adecuado en el plan preventivo permitirá reducir los tiempos de inactividad programada y maximizar la vida útil de los componentes, asegurando una mayor disponibilidad operativa de las celdas de flotación.
2. Se recomienda establecer un programa de monitoreo regular para los deflectores rediseñados, utilizando técnicas no invasivas como el monitoreo con ultrasonido y la inspección visual. Dado que el rediseño modular permitirá una mayor facilidad de acceso y reemplazo de componentes, este monitoreo puede realizarse de manera más eficiente. Se sugiere una frecuencia de inspección mensual, especialmente en los puntos críticos identificados (vértices inferiores), donde el desgaste por impacto ha sido históricamente más pronunciado. Con este monitoreo, se podrán anticipar fallos y reemplazar solo los injertos necesarios, evitando así reemplazos innecesarios de toda la estructura, lo que resultará en una optimización del mantenimiento y un ahorro de costos de al menos un 20 % anual, como proyectado en las conclusiones.
3. Para aprovechar al máximo las ventajas del rediseño modular de los deflectores, es crucial capacitar al personal de mantenimiento en la instalación, inspección y reemplazo de los injertos. Se sugiere desarrollar un plan de capacitación práctica enfocado en la familiarización con los nuevos materiales (compuestos cerámicos y aceros de alta resistencia), las técnicas de soldadura y empernado necesarias para el rediseño, y el uso de herramientas de monitoreo y diagnóstico. La implementación de esta capacitación asegurará que el personal pueda ejecutar las actividades de mantenimiento en un 35 % menos tiempo, como se mencionó en los hallazgos, mejorando la productividad y reduciendo los tiempos de inactividad.
4. Se recomienda realizar evaluaciones periódicas del rediseño de los deflectores utilizando simulaciones computacionales actualizadas y datos operativos reales. Las simulaciones con herramientas como SolidWorks permitieron identificar áreas de alto desgaste antes del rediseño, y estas técnicas deben continuar aplicándose para evaluar el rendimiento del nuevo diseño. Además, los datos de operación, como el número de partículas impactando los



deflectores ( $21.78 \text{ m}^3/\text{s}$  de flujo y  $78.41 \times 10^9$  partículas/hora), deben seguir siendo recopilados y analizados para ajustar el diseño si es necesario. Este enfoque de mejora continua garantizará que el rediseño siga siendo efectivo a largo plazo, manteniendo la proyección de reducción de costos y aumento de la eficiencia del 15 % en disponibilidad operativa.

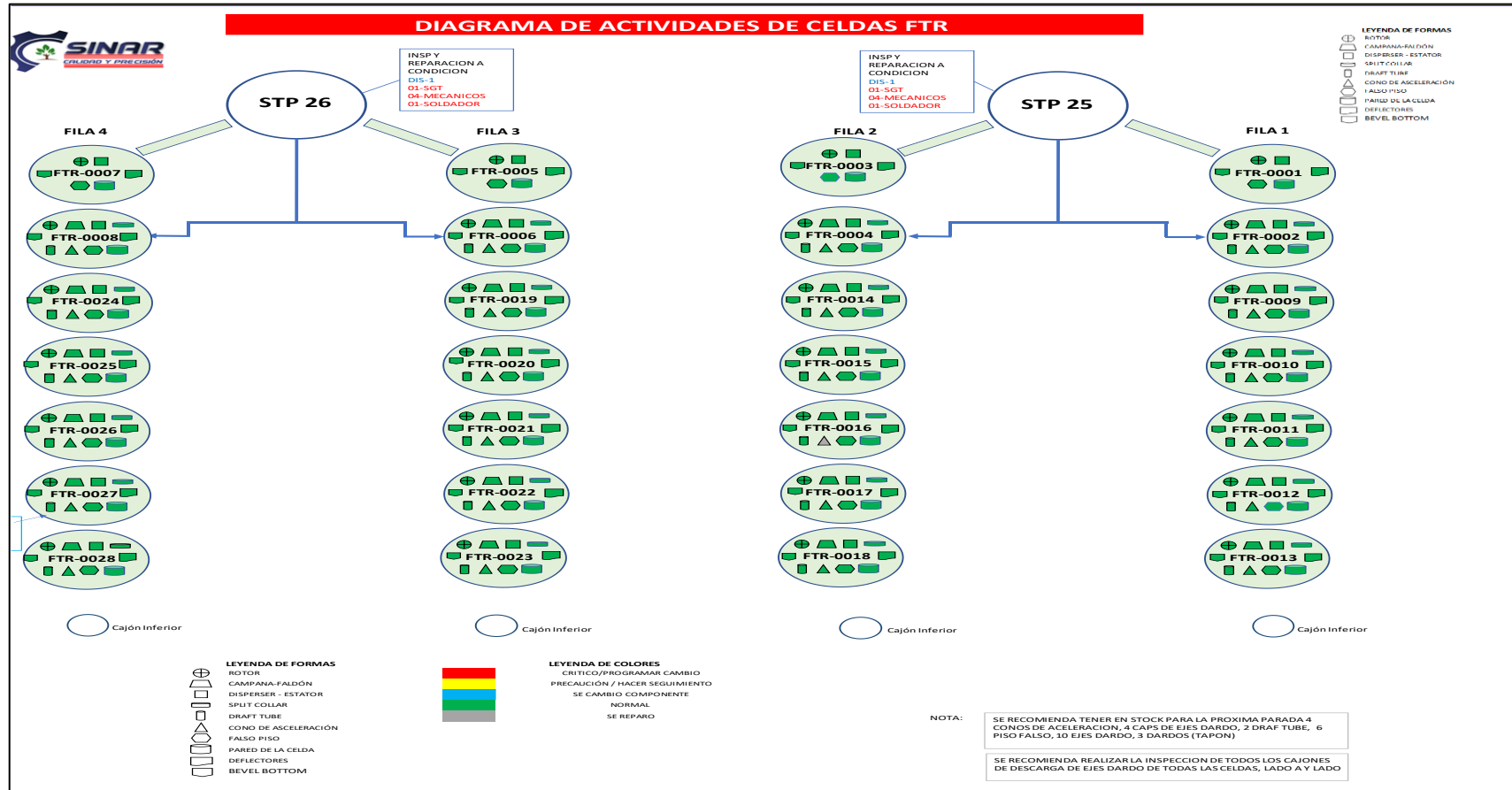
## REFERENCIAS

1. **MONTES, M.** Modelo de análisis integral de riesgos, aplicado a nivel micro, en componentes estructurales y mecánicos de celdas de flotación del tipo Wemco (Tesis de pregrado). [Universidad de Chile]. 2016. [En línea] [Citado el: 8 de julio del 2024.]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/139522>
2. **NAKHAEI, F et al.** Optimization and Control of Flotation Process (Trabajo de investigación). [Missouri University of Science and Technology]. 2021. [En línea] [Citado el: 8 de julio del 2024.]. [https://www.researchgate.net/publication/379747212\\_Editorial\\_for\\_Special\\_Issue\\_Design\\_Modeling\\_Optimization\\_and\\_Control\\_of\\_Flotation\\_Process](https://www.researchgate.net/publication/379747212_Editorial_for_Special_Issue_Design_Modeling_Optimization_and_Control_of_Flotation_Process)
3. **CISTERNAS, L. et al.** Modeling, Design and Optimization of Multiphase Systems in Minerals Processing (Trabajo de investigación). [Universidad de Antofagasta]. 2022. [En línea] [Citado el: 8 de julio del 2024.]. [https://www.researchgate.net/publication/338167568\\_Trends\\_in\\_Modeling\\_Design\\_and\\_Optimization\\_of\\_Multiphase\\_Systems\\_in\\_Minerals\\_Processing](https://www.researchgate.net/publication/338167568_Trends_in_Modeling_Design_and_Optimization_of_Multiphase_Systems_in_Minerals_Processing)
4. **CONTRERAS, A. et al.** Implementación de Rediseño de Celda de Flotación Tipo Denver, en el Laboratorio Químico Metalúrgico de la Universidad de Atacama, Sede Vallenar. (Tesis de pregrado). [Universidad de Atacama]. 2022. [En línea] [Citado el: 08 de julio del 2024.]. <https://repositorioacademico.uda.cl/bitstream/handle/20.500.12740/17001/bib%2030251.pdf?sequence=1>
5. **CONDE, J.** Construcción de un prototipo de celda circular modificada y consideraciones comparativas con celdas convencionales de flotación, en la implementación de tecnologías de proceso. (Proyecto de Grado) [Universidad Mayor de San Andrés]. 2023. [En línea] [Citado el: 8 de julio del 2024.]. <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/36287>
6. **PUMA, J.** Fabricación de celdas de flotación tipo Wemco para la Minera Antapaccay en la Empresa Imco Servicios S.A.C. Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. 2014. [En línea] [Citado el: 8 de marzo del 2024.]. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3205151>
7. **GIRÁLDEZ, J.** Montaje de celdas de flotación para el proyecto minero Las Bambas. Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. 2022. [En línea] [Citado el: 08 de marzo del 2024.]. <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/3a5d344a-faef-4296-b139-86811be3a773>

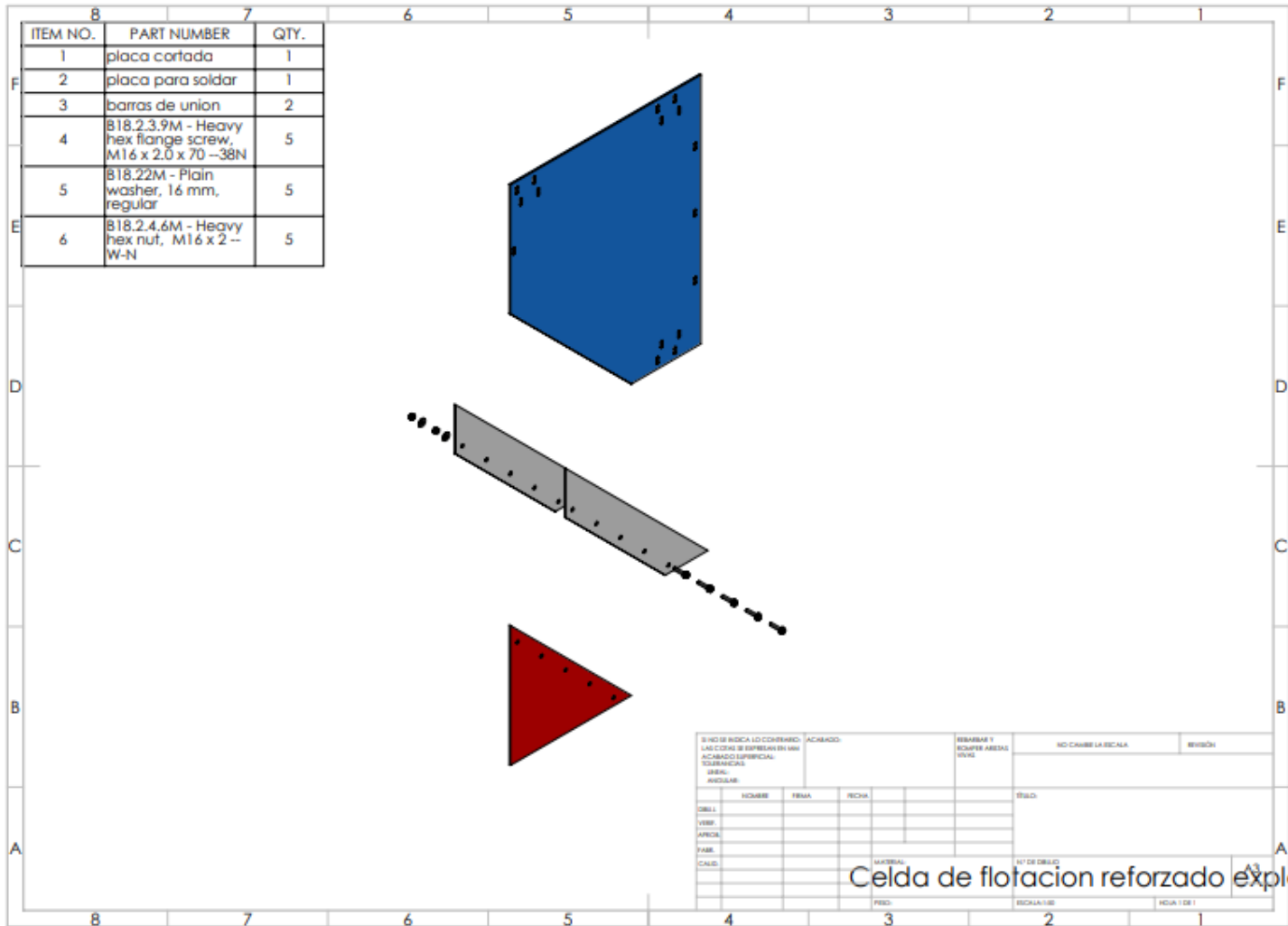
8. **OSORIO, I.** Diseño de un tanque celda de 30 m<sup>3</sup> para la flotación de concentrado de zinc en la Planta Concentradora Raura. Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo. 2018. [En línea] [Citado el: 8 de marzo del 2024.]. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/4949>
9. **VILLALTA, A.** Optimización y Control de Calidad en la Construcción de Celdas de Flotación de Molibdeno empleando Acero ASTM A36. Facultad de Ingeniería de Procesos, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa. 2014. [En línea] [Citado el: 8 de julio del 2024.]. <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/1945b7a4-85a7-42b8-8c17-1b3b40f26ba6>
10. **MATIOLO, E.** Técnicas no convencionales de flotación de partículas finas de sulfuro de cobre y molibdeno. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2017. [En línea] [Citado el: 13 de julio del 2024.].
11. **GÓMEZ, R.** Estudio del comportamiento a desgaste erosivo de recubrimientos WC-Co micro y nano estructurados. Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales, Universidad Politécnica de Valencia. 2009. [En línea] [Citado el: 13 de julio del 2024.]. <https://riunet.upv.es/bitstream/10251/14354/1/7.%20TESIS%20MASTER%20DIMM.pdf>
12. **GARCÍA, S.** Organización y Gestión Integral de Mantenimiento. España. Ed. Diaz de Santos 2003. ISBN: 84-7978-548-9
13. **PASCUAL, R.** El arte de mantener. Chile. Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Chile. [En línea] [Citado el: 22 de enero del 2024.]. [https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2005/2/ME57A/1/material\\_docente/bajar?id=77092](https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2005/2/ME57A/1/material_docente/bajar?id=77092)
14. **FIGUEROA, M.** Celda de flotación de nueva generación, prototipo, pilotaje y evaluación. Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. [En línea] [Citado el: 8 de marzo del 2024.]. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/2872>
15. **HERNÁNDEZ et al.** Metodología de la investigación. 5ta ed. México: Mc Graw, 2010. ISBN: 978-607-15-0291-9.
16. **SEARS y ZEMANSKY.** Física Universitaria. Vol 1. 13.<sup>a</sup> ed. México: Pearson Educación, 2009. ISBN: 978-607-442-288-7
17. **Frank M. WHITE.** Mecánica de Fluidos. 5ta ed. España: McGraw Hill, 2003. ISBN: 0-07-240217-2
18. **JOHNSON, K. L.** Contact Mechanics. 9na ed. Cambridge, 2003. ISBN: 0-521-34796-3
19. **GWIDON, W. et al.** Engineering Tribology. 14.<sup>a</sup> ed. Elsevier, 2014. ISBN:978-0-12-397047-3

## **ANEXOS**

# Anexo 1



### Anexo 2

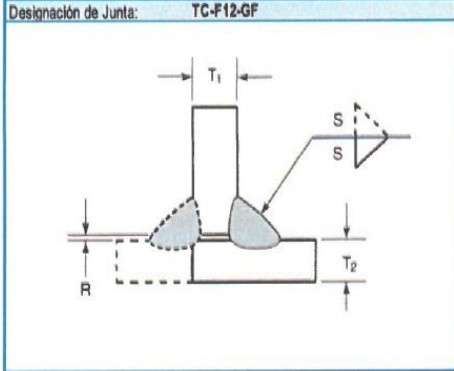
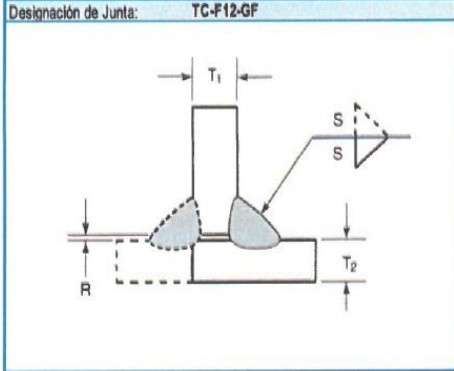
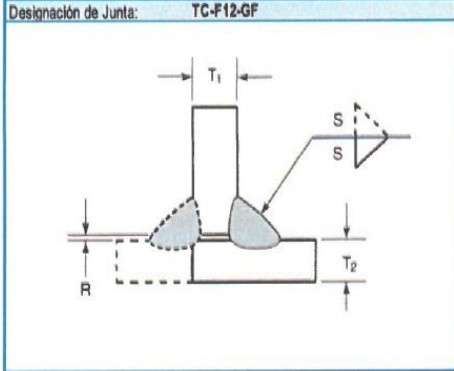








## Anexo 5

<b>ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)</b>		Página 1 de 2																					
Según AWS D1.1/D1.1M Edición 2020 Structural Welding Code - Steel																							
<b>Nombre de la Compañía</b> SINAR S.A.C. <b>Proyecto</b> Fabricación de estructuras según AWS D1.1 <b>Proceso (s) de Soldadura</b> FCAW-G (Gas Shielded Flux Cored Arc Welding) <b>PQR de Soporte</b> N.A. (Precalificado)	<b>Identificación</b> WPS-SINAR-7-23 <b>Revisión</b> 0 <b>Fecha</b> 01/06/2023 <b>Por</b> <b>Autorizado por</b> Ing. Martín Velarde <b>Fecha</b> 01/06/2023																						
<b>DISEÑO(S) DE JUNTA</b>																							
<b>Tipo:</b> TC-F12-GF (Junta en "T" - "Esquina" - Soldadura de Filete)																							
Simple <input checked="" type="checkbox"/> Soldadura Doble <input type="checkbox"/>																							
<b>Respaldo:</b> Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>																							
<b>Material de respaldo:</b> ---																							
<b>Abertura de Raíz</b> 0 mm +2, -0 <b>Dimensión de Cara de Raíz</b> ---																							
<b>Angulo de Ranura</b> --- <b>Radio (J - U)</b> ---																							
<b>Remoción de Raíz:</b> Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>																							
<b>Método</b> ---																							
<b>METALES BASE</b>																							
<b>Espec. de Material</b> Cualquier Acero del Grupo I con cualquier acero del Grupo I Cualquier Acero del Grupo II con cualquier acero del Grupo II																							
<b>Tipo o Grado</b> ---																							
<b>Espesor (es)</b> Ranura --- Filete <b>Espesor de T1 o T2 podrían ser desde 3 mm hasta 74 mm</b>																							
<b>Diámetro (Tubería)</b> ---																							
<b>METALES DE APORTE</b>																							
<b>Especificación AWS</b> AWS A 5.20 <b>Clasificación AWS</b> E71T-1C/9C - DH8 <b>Nombre comercial</b> DUAL SHIELD 7100 Ultra																							
<b>PROTECCIÓN</b>																							
<b>Fundente</b> ---																							
<b>Electrodo-Fundente (Clase)</b> ---																							
<b>Gas</b> Dióxido de carbono																							
<b>Composición</b> AWS A 5.32 SG-C (100% CO <sub>2</sub> )																							
<b>Tasa de Flujo</b> 20 litros/minuto + 50%, - 25%																							
<b>Tamaño de Copa de Gas</b> 16 mm																							
<b>PRECALENTAMIENTO</b>																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;"></th> <th style="width: 30%;">Espesor</th> <th style="width: 40%;">Temperatura (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4" style="vertical-align: top;">                             Mínima temperatura de PreCALENTAMIENTO e Interpase (Según tabla 5.8 Categoría B)                         </td> <td>Desde 3 mm a 20 mm Incluido</td> <td>0 °C (Ver nota a)</td> </tr> <tr> <td>Mayor a 20 hasta 38 mm Incluido</td> <td>10 °C</td> </tr> <tr> <td>Mayor a 38 mm hasta 65 mm Incluido</td> <td>85 °C</td> </tr> <tr> <td>Mayor a 65 mm</td> <td>110 °C</td> </tr> </tbody> </table>				Espesor	Temperatura (°C)	Mínima temperatura de PreCALENTAMIENTO e Interpase (Según tabla 5.8 Categoría B)	Desde 3 mm a 20 mm Incluido	0 °C (Ver nota a)	Mayor a 20 hasta 38 mm Incluido	10 °C	Mayor a 38 mm hasta 65 mm Incluido	85 °C	Mayor a 65 mm	110 °C									
	Espesor	Temperatura (°C)																					
Mínima temperatura de PreCALENTAMIENTO e Interpase (Según tabla 5.8 Categoría B)	Desde 3 mm a 20 mm Incluido	0 °C (Ver nota a)																					
	Mayor a 20 hasta 38 mm Incluido	10 °C																					
	Mayor a 38 mm hasta 65 mm Incluido	85 °C																					
	Mayor a 65 mm	110 °C																					
Nota a. Cuando el metal base esta a una temperatura inferior a los 0°C, el metal base debe ser precalentado a 20°C. Esta temperatura mínima de precalentamiento, debe mantenida durante toda la operación de soldadura.																							
<b>DETALLE DE JUNTA</b>																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <b>Designación de Junta:</b> TC-F12-GF    </td> <td style="width: 25%; vertical-align: top;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Preparación de Ranura</th> </tr> <tr> <th style="width: 50%;">Abertura de Raíz</th> <th style="width: 50%;">R = 0</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>---</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </tbody> </table> </td> <td style="width: 25%; vertical-align: top;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Tolerancias</th> </tr> <tr> <th style="width: 50%;">Como Detallado (Ver 5.4.1.1)</th> <th style="width: 50%;">Como ajuste (Ver 5.4.1.8)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>R = +2, -0</td> <td>R = 5 máximo</td> </tr> <tr> <td>---</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </tbody> </table> </td> </tr> </table>			<b>Designación de Junta:</b> TC-F12-GF  	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Preparación de Ranura</th> </tr> <tr> <th style="width: 50%;">Abertura de Raíz</th> <th style="width: 50%;">R = 0</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>---</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </tbody> </table>	Preparación de Ranura		Abertura de Raíz	R = 0	---	---	---	---	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Tolerancias</th> </tr> <tr> <th style="width: 50%;">Como Detallado (Ver 5.4.1.1)</th> <th style="width: 50%;">Como ajuste (Ver 5.4.1.8)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>R = +2, -0</td> <td>R = 5 máximo</td> </tr> <tr> <td>---</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </tbody> </table>	Tolerancias		Como Detallado (Ver 5.4.1.1)	Como ajuste (Ver 5.4.1.8)	R = +2, -0	R = 5 máximo	---	---	---	---
<b>Designación de Junta:</b> TC-F12-GF  	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Preparación de Ranura</th> </tr> <tr> <th style="width: 50%;">Abertura de Raíz</th> <th style="width: 50%;">R = 0</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>---</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </tbody> </table>	Preparación de Ranura		Abertura de Raíz	R = 0	---	---	---	---	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Tolerancias</th> </tr> <tr> <th style="width: 50%;">Como Detallado (Ver 5.4.1.1)</th> <th style="width: 50%;">Como ajuste (Ver 5.4.1.8)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>R = +2, -0</td> <td>R = 5 máximo</td> </tr> <tr> <td>---</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </tbody> </table>	Tolerancias		Como Detallado (Ver 5.4.1.1)	Como ajuste (Ver 5.4.1.8)	R = +2, -0	R = 5 máximo	---	---	---	---			
Preparación de Ranura																							
Abertura de Raíz	R = 0																						
---	---																						
---	---																						
Tolerancias																							
Como Detallado (Ver 5.4.1.1)	Como ajuste (Ver 5.4.1.8)																						
R = +2, -0	R = 5 máximo																						
---	---																						
---	---																						
<b>Notas para tolerancias:</b> <b>Como Detallado:</b> Las dimensiones de la ranura puede variar en el diseño o detalles de dibujo dentro de los límites o tolerancias mostrados en la columna "Como Detallado". <b>Como ajuste:</b> Las tolerancias de ajuste pueden aplicarse a las dimensiones que se muestran en el detalle de dibujo.																							
<b>POSICIÓN</b>																							
<b>Posición de Ranura</b> --- Filete Todas																							
<b>Progresión Vertical</b> Ascendente <input checked="" type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>																							
<b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS</b>																							
<b>Modo de Transferencia (GMAW)</b> Corto Circuito <input type="checkbox"/> Globular <input type="checkbox"/> Rocío "Spray" <input type="checkbox"/>																							
<b>Corriente</b> AC <input type="checkbox"/> DC EP <input checked="" type="checkbox"/> DC EN <input type="checkbox"/> Pulsada <input type="checkbox"/>																							
<b>Fuente de Alimentación</b> CC <input type="checkbox"/> CV <input checked="" type="checkbox"/>																							
Otro Fuente de poder de corriente continua y de voltaje constante																							
<b>Electrodo de Tungsteno (GTAW)</b> Tamaño --- Tipo ---																							
<b>TÉCNICA</b>																							
<b>Cordón Estrecho u Oscilado</b> Estrecho u Oscilado, según sea requerido																							
<b>Pase Simple o Multipase (Por Lado)</b> Ambos, según se requiera																							
<b>Número de Electrodo</b> Uno a la vez																							
<b>Separación de Electrodo</b> Longitudinal --- Lateral --- Angulo ---																							
<b>Distancia del Tubo de Contacto a la Pieza de Trabajo</b> Stick out 14 a 18 mm																							
<b>Martilleo</b> ---																							
<b>Limpieza entre pases</b> Raíz: Limpieza mecánica con disco abrasivo y escobilla. Resto de pases: Limpieza mecánica con escobilla circular.																							
<b>TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA</b>																							
<b>Temperatura</b> --- <b>Tiempo</b> ---																							



**ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)**

Según AWS D1.1/D1.1M Edición 2020 Structural Welding Code -Steel

Página 2 de 2

Identificación WPS-SINAR-7-23

**Notas para figura 5.3**

- a. Tamaño de soldadura de filete ("S"). Ver 4.4.2.8 y cláusula 7.13 para tamaños mínimos de soldadura de filete. Ver tabla 5.1 para tamaño máximo de pase simple.
- b. Ver 7.21.1 para requerimientos de ensamble adicionales o excepciones de soldadura de filete.
- d. Perpendicularidad de los miembros debe estar dentro de  $\pm 10^\circ$ .

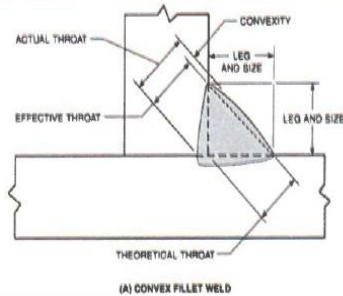
**PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA**

Posición (es) de Soldadura	Pase o Cadas (s) de Soldadura	Proceso (s)	Metal (es) de aporte		Corriente		Voltios	Velocidad de Avance [mm/minuto]
			Clasificación AWS	Diámetro (s) [mm]	Tipo y Polaridad	Amperios o Velocidad de alimentación de alambre		
Plana	Raíz o llenado	FCAW-G	E71T-1C/9C - DH8	1.20	DC EP	240 $\pm$ 10%	26 $\pm$ 15%	320 $\pm$ 25%
	Raíz o llenado	FCAW-G	E71T-1C/9C - DH8	1.60	DC EP	290 $\pm$ 10%	28 $\pm$ 15%	360 $\pm$ 25%
Horizontal	Raíz o llenado	FCAW-G	E71T-1C/9C - DH8	1.20	DC EP	220 $\pm$ 10%	24 $\pm$ 15%	320 $\pm$ 25%
	Raíz o llenado	FCAW-G	E71T-1C/9C - DH8	1.60	DC EP	260 $\pm$ 10%	26 $\pm$ 15%	380 $\pm$ 25%
Vertical	Raíz o llenado	FCAW-G	E71T-1C/9C - DH8	1.20	DC EP	200 $\pm$ 10%	24 $\pm$ 15%	280 $\pm$ 25%
	Raíz o llenado	FCAW-G	E71T-1C/9C - DH8	1.60	DC EP	240 $\pm$ 10%	26 $\pm$ 15%	340 $\pm$ 25%
Sobre Cabeza	Raíz o llenado	FCAW-G	E71T-1C/9C - DH8	1.20	DC EP	220 $\pm$ 10%	24 $\pm$ 15%	300 $\pm$ 25%
	Raíz o llenado	FCAW-G	E71T-1C/9C - DH8	1.60	DC EP	260 $\pm$ 10%	26 $\pm$ 15%	360 $\pm$ 25%

**Table 7.7  
Minimum Fillet Weld Sizes (See Z.13)**

Base Metal Thickness (T) <sup>a</sup>		Minimum Size of Fillet Weld <sup>b</sup>	
in	mm	in	mm
T $\leq$ 1/4	T $\leq$ 6	1/8 <sup>c</sup>	3 <sup>c</sup>
1/4 < T $\leq$ 1/2	6 < T $\leq$ 12	3/16	5
1/2 < T $\leq$ 3/4	12 < T $\leq$ 20	1/4	6
3/4 < T	20 < T	5/16	8

<sup>a</sup> For nonlow-hydrogen processes without preheat calculated in conformance with 5.8.4, T equals thickness of the thicker part joined; single-pass welds shall be used.  
<sup>b</sup> For nonlow-hydrogen processes using procedures established to prevent cracking in conformance with 5.8.4 and for low-hydrogen processes, T equals thickness of the thinner part joined; single-pass requirement shall not apply.  
<sup>c</sup> Except that the weld size need not exceed the thickness of the thinner part joined.  
<sup>d</sup> Minimum size for cyclically loaded structures shall be 3/16 in [5 mm].



**Table 5.1  
Prequalified WPS Requirements<sup>a</sup> (see 5.2)**

Variable	Position	Weld Type	SMAW <sup>b</sup>	SAW <sup>b</sup>			GMAW/FCAW <sup>c</sup>
				Single	Parallel	Multiple	
Maximum Single Pass Fillet Weld Size <sup>d</sup>	Flat	Fillet	3/8 in [10 mm]	Unlimited		1/2 in [12 mm]	
	Horizontal		5/16 in [8 mm]	5/16 in [8 mm]	1/2 in [12 mm]	3/8 in [10 mm]	
	Vertical		1/2 in [12 mm]			1/2 in [12 mm]	
	Overhead		5/16 in [8 mm]			5/16 in [8 mm]	

**INFORMACIÓN ADICIONAL**

Notas: Nosotros, los firmantes, certificamos que la presente Especificación de Procedimiento de Soldadura cumple con los requisitos de la Cláusula 5 de AWS D1.1/D1.1M (2020) Structural Welding Code - Steel.

Revisión	Escrito por	Aprobado por	Aprobación del Cliente	Estado
0			<p><b>SINAR PERÚ S.A.C.</b> RUC 20564255514</p> <p><b>MARTIN VELARDE S.</b> Residente Mantto Mina / Taller</p>	✓
Fecha:		Fecha:	Fecha: <b>01/06/2023</b>	





Registro de Calificación de Desempeño de Soldador, Operador de Soldadura o Apuntalador (WPQR)  
Según AWS D1.1/D1.1M Edición 2020 Structural Welding Code - Steel

Página 1 de 1

Nombre	Soto Taco Fredy	Fecha de Ensayo	31/01/2024	Rev.
Identificación	47696691	No. de Registro	FST91/031-24-RC-LR	0
No. de Estampa	FST91	No. de Reg. de Calificación	031-24-RC-LR	0
Compañía	Sinar S.A.C.	No. de WPS	WPS-SINAR-4-23	0
Dirección	---	Calificado Para	AWS D 1.1/ D1.1M Edición 2020	

METALES BASE	Especificación	Tipo o Grado	No. Grupo AWS	Tamaño (NPS)	Cédula	Espesor	Diámetro
Metal Base	ASTM A 36	--	II	--	--	25.4 mm	--
Soldado a	ASTM A 36	--	II	--	--	25.4 mm	--

VARIABLES	Valores Actuales	RANGO CALIFICADO
Tipo de Junta de Soldadura	Plancha - Soldadura de Ranura Con Respaldo (Figura 6.16)	Soldadura de Ranuras, Filetes, Tapón y en Canal (solo T-, Y- y K- con PJP)
Metal Base	Grupo II a Grupo II	Cualquier Metal Base Calificado AWS D1.1

	Ranura	Filete	Ranura	Filete
Espesor de Plancha	25.4 mm	--	3 mm - Ilimitado	3 mm - Ilimitado
Espesor de Tubo	--	--	3 mm - Ilimitado	3 mm - Ilimitado
Diámetro de Tubo	--	--	600 mm mínimo	Ilimitado

Proceso de Soldadura	FCAW (Flux Cored Arc Welding)	FCAW (Flux Cored Arc Welding)
Tipo (Manual, Semiautomático, Mecanizado, Automático)	Semiautomático	Semiautomático
Respaldo	Con respaldo	Con respaldo (Incluido ranurado del lado opuesto y soldadura de refuerzo)
Metal de Aporte (Especificación AWS)	AWS A 5.20	AWS A 5.20 y AWS A 5.29
Clasificación AWS	E71T-1C/9C-DH8	Todas las clasificaciones
F N°	--	--
Posición	3G (Vertical)	Plano, Horizontal y Vertical
Ranura - Plancha y Tubo $\geq$ 600 mm		Plano, Horizontal y Vertical
Ranura - Tubo < 600 mm		--
Filete - Plancha y Tubo $\geq$ 600 mm		Plano, Horizontal y Vertical
Filete - Tubo < 600 mm		Plano, Horizontal y Vertical
Progresión	Ascendente	Ascendente
Modo Transferencia GMAW	--	--
Electrodo Simple o Múltiple	Simple	Simple
Tipo de Gas / Fundente	AWS A 5.32 - C1 - C (100% CO <sub>2</sub> )	Gases aprobados por AWS A 5.32

Resultado de la Inspección Visual (D1.1, 6.23.1)

Acceptable Si  No

Resultado y Tipos de Ensayo de Dobles Guiado (D1.1, 6.10.3.3)

Tipo	Resultado	Tipo	Resultado
FST91-031-24-DTL-1	Aceptado	--	
FST91-031-24-DTL-2	Aceptado	--	

Resultado de los Ensayos de Soldaduras de Filete (D1.1, 6.23.2.2 - 6.23.4.1)

Apariencia	--	Tamaño de Filete	--
Ensayo de Fractura	--	Macrografía	--
Comentarios	--		
Inspeccionado por		Compañía	
No. de Ensayo	031-24-RE-LR	Fecha	31/01/2024

\*Resultados de Ensayo Radiográfico (6.23.3.2): En lugar de los ensayos de dobles Guiado, excepto para GMAW-S

No de Ident. de Película	Resultados	Observaciones	No de Ident. de Película	Resultados	Observaciones
--	--	--	--	--	--
--	--	--	--	--	--

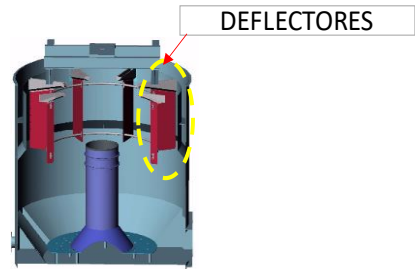
Inspeccionado por	--	Compañía	--
No. de Ensayo	--	Fecha	--

Nosotros, Los firmantes, certificamos que lo indicado en este registro es correcto y que estos ensayos de soldadura fueron preparados soldados y ensayados de acuerdo con los requerimientos de la Clausula 6 de AWS D1.1/D1.1M 2020 Structural Welding Code Steel

Fabricante o Contratista Sinar S.A.C. Autorizado por Ing. Martin Velarde  
Fecha 31/01/2024

## SEGUIMIENTO DE PARADA DE PLANTA-DEFLECTORES

LEYENDA		
CLASE	COLOR	PORCENTAJE
NORMAL	NM	100%-90%
TOLERABLE	TL	89%-70%
PRECAUCIÓN	PR	69%-40%
CRITICO	COLOR	39%-0%
CAMBIADO	CM	NUEVO



	Parada Línea	Parada Mayor	Parada Línea	Parada Mayor	Parada Línea	Parada Mayor	Parada Línea	Parada Mayor
N° CELDA ↓	21/11/2022	3/02/2023	15/05/2023	25/07/2023	31/10/2023	20/02/2024	16/04/2024	30/06/2024
FTR-001								
FTR-002								
FTR-003								
FTR-004								
FTR-005								
FTR-006								
FTR-007								
FTR-008								
FTR-009	TL	TL	TL	TL	TL	TL	PR	PR
<b>FTR-010</b>	C	CM	NM	NM	TL	TL	TL	TL
FTR-011	TL	TL	TL	TL	TL	PR	PR	PR
FTR-012	C	CM	NM	NM	TL	TL	TL	TL
FTR-013	PR	CM	NM	NM	TL	TL	TL	TL
FTR-014	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
FTR-015	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	PR
<b>FTR-016</b>	C	CM	NM	NM	TL	TL	TL	TL
FTR-017	PR	PR	C	CM	NM	NM	TL	TL
FTR-018	C	CM	NM	NM	TL	TL	TL	TL
FTR-019	NM	NM	TL	TL	TL	TL	TL	TL
FTR-020	TL	TL	TL	TL	TL	PR	PR	PR
FTR-021	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	PR
FTR-022	TL	TL	TL	TL	TL	TL	PR	PR
FTR-023	C	CM	NM	NM	NM	TL	TL	TL
FTR-024	PR	PR	C	CM	NM	NM	TL	TL
FTR-025	PR	PR	C	CM	NM	NM	TL	TL
FTR-026	C	CM	NM	NM	TL	TL	TL	TL
FTR-027	PR	PR	PR	PR	C	CM	NM	NM
FTR-028	C	CM	NM	NM	NM	TL	TL	TL

**Nota 01:** Se realizó el cambio con el rediseño planteado de los deflectores de las **FTR 10, FTR 16, FTR 23 & FTR 28**

**Nota 02:** Se realizó el cambio de integral de los deflectores **FTR 12, FTR 13, FTR 18 & FTR 26**